

Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft

Jahrbuch 2007



J. CRAMER Verlag · Braunschweig
2008

Das vorliegende Jahrbuch ist bei der Braunschweigischen Wissenschaftlichen
Gesellschaft und im Buchhandel erhältlich
Preis: € 16,00

Gedruckt mit Hilfe von Forschungsmitteln
des Landes Niedersachsen

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
Fallersleber-Tor-Wall 16 · D-38100 Braunschweig
Postfach 3329 · D-38023 Braunschweig
Telefon: (05 31) 1 44 66 · Fax (05 31) 1 44 60

<http://www.bwg-niedersachsen.de>

Für die Redaktion verantwortlich:
Der Generalsekretär der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

ISSN 0931-1734
ISBN 978-3-934656-23-9

Gesamtherstellung:
J. Cramer Verlag · Am Hasengarten 23 A · D-38126 Braunschweig
2008
Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

ALLGEMEINES UND HISTORISCHES

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG) ..	7
Die Organe der BWG 1943 – 2007	8
Satzung der BWG	10

HINWEISE AUF VERANSTALTUNGEN DER BWG

<i>WissenschaftsSoirée 2006/2007</i> in Wolfsburg am 25.01.2007: phaeno, Wolfsburg	15
Ethik-Symposium „Neue Perspektiven für die Stammzell-Medizin“ am 01.02.2007: Industrie- und Handelskammer, Braunschweig	17
<i>Sabine Freudenstein</i> : Neue Perspektiven für die Stammzell-Medizin, Symposiums- bericht	19
Interdisziplinäres Symposium „Kaiser Lothar III. und der ‚Kaisertum‘ in Königs- lutter am 10. – 12.08.2007: Braunschweigisches Landesmuseum	37
Festakt am 08.09.07 zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.Dr. Claus-Artur Scheier	40
<i>Akademie-Vorlesungen „Licht und Energie“</i> gemeinsam mit der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen am 30. / 31.10., 06. / 07.11.2007: Roter Saal, Schloss Braunschweig	41
Verleihung <i>Braunschweiger Bürgerpreis</i> für herausragende studentische Leistungen am 06.12.2007	47

PLENARVERSAMMLUNGEN

20.01.2007	in Braunschweig	
	<i>Johannes Zählten</i> : Arabisches Wissen und lateinischer Westen. Bild- licher Disput mit Averroes	49
	<i>Claus-Artur Scheier</i> : Schlussworte zur Neujahrssitzung	55
09.02.2007	in Braunschweig	
	<i>Gunther Kühne</i> : Moses Mendelssohn, die Aufklärung und das moderne Judentum	57

16.03.2007	in Braunschweig <i>Ulrich Reimers: Entwicklungstrends in den Elektronischen Medien – von IPTV bis HDTV</i>	59
20.04.2007	in Braunschweig <i>Thomas Sonar: Der Tod des Gottfried Wilhelm Leibniz, Wahrheit und Legende im Licht der Quellen</i> (ausführliche Fassung in den Abhandlungen 59 [2007])	
07.07.2007	in Goslar <i>Hans-Peter Beck & Jens Peter Springmann: Transdisziplinarität in der Energieforschung – Das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen. Eine Brücke zur Transdisziplinarität</i>	69
12.10.2007	in Braunschweig <i>Karl-Heinz Glaßmeier: BepiColombo – Genese eines Weltraumpro- jektes</i>	81
09.11.2007	in Hannover <i>Monika Sester: Geoinformatik – aktuelle Forschungsfragen</i>	93
07.12.2007	in Braunschweig Haupt- und Wahlsitzung	

KLASSENSITZUNGEN

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

16.03.2007	in Braunschweig <i>Thomas Sonar: Die Entwicklung der Ballistik von Aristoteles bis Euler</i> (ausführliche Fassung in den Abhandlungen 59 [2007])	
12.10.2007	in Braunschweig <i>Ralf R. Mendel: Kann man Pflanzen klonen? – Aber, natürlich!</i>	105
09.11.2007	in Hannover <i>Ludwig Schätzl: Armut in Entwicklungs- und Schwellenländern</i>	108

Klasse für Ingenieurwissenschaften

09.02.2007	in Braunschweig Regularien	
12.10.2007	in Braunschweig Regularien	

09.11.2007	in Hannover	
	<i>Dieter Dinkler</i> : Modelle für die Untersuchung winderregter Schwingungen von Brückenquerschnitten	111

Klasse für Geisteswissenschaften

09.02.2007	in Braunschweig	
	<i>Herbert Breger</i> : Johann Valentin Andreae: Christliche Reform und Mathematik	113
12.10.2007	in Braunschweig	
	<i>Heimo Reinitzer</i> : Alexanders II. von Pappenheim Reise nach Rom und Jerusalem (16.03.1563-30.01.1564)	127

FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG am 4. Mai 2007

Öffentliche wissenschaftliche Vorträge

<i>Ernst Rank</i> , München	
Virtual Engineering: Informations-, Simulations- und Kooperationsmodelle für den ingenieurgerechten Entwurfsprozess	129
<i>Ekkehard Ramm</i> , Stuttgart	
Zur Strukturmechanik – Modellbildungen und Anwendungen	141
<i>Josef Eberhardsteiner & Karin Hofstetter</i> , Wien	
Werkstoffmodellierung in der numerischen Mechanik – mikro- und makromechanische Charakterisierung von Holz	157

Festversammlung im Altstadtrathaus

Der Präsident der BWG, <i>Joachim Klein</i>	
Ansprache und Bericht	173
<i>Peter Wriggers</i> , Hannover	
Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 2007 an <i>Herbert A. Mang</i>	181
<i>Herbert A. Mang</i> , Wien	
In Computational Mechanics sollt' nie zum Augenblick man sagen: „Verweile doch! Du bist so schön“	187
Urkunde und Lebenslauf des Preisträgers	217
Der Generalsekretär der BWG, <i>Claus-Artur Scheier</i>	
Schlussworte	220

MITTEILUNGEN

Veröffentlichungen	222
Geschäftliche Mitteilungen	222

PERSONALIA

Todesfälle	223
Zuwahlen	224
Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949 – 2007	228
Mitgliederverzeichnis	233

ALLGEMEINES UND HISTORISCHES

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Im Jahre 1943 führten die Initiativen einiger Professoren der Braunschweiger Technischen Hochschule Carolo Wilhelmina zur Gründung der „Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“. Sie wurde nach Genehmigung der vorgelegten Satzung durch den damals zuständigen Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung am 9. Dezember 1943 in einer feierlichen Sitzung konstituiert. Das zu diesem Anlaß von dem ersten Vorsitzenden des Senats der neuen Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmidt, erstattete Referat gibt Auskunft über die Motive dieser Gründung. Maßgebend war der Wunsch nach Überwindung eines allzu engen wissenschaftlichen Spezialistentums und einer einseitigen Orientierung der Forschung auf rasche Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Dies wird in der ersten Satzung der Gesellschaft deutlich. In deren § 1 bestimmt sie: „insbesondere soll sie über die fachlichen Grenzen hinaus die Bearbeitung von Gemeinschaftsaufgaben übernehmen und dazu beitragen, innere Beziehungen zwischen allen Wissens- und Lebensgebieten herzustellen“. Organisatorisch war die Neugründung als selbständige wissenschaftliche Gesellschaft mit eigenen Organen (Kuratorium, Senat, Fachbereiche) angelegt. Der jeweilige Rektor der Technischen Hochschule Braunschweig war jedoch ex officio zum Präsidenten der Gesellschaft bestimmt, was hauptsächlich auf eine administrative Vereinfachung abzielte.

Bis Ende 1944 wurde die Gesellschaft durch Berufung von Mitgliedern aus verschiedenen Fachgebieten personell ausgebaut. Besondere Aktivitäten konnte sie in den letzten Monaten des zweiten Weltkrieges nicht mehr entfalten. Sie bestand auch nach dem Kriege unter einem kommissarischen Präsidenten unverändert fort. Jedoch wurden Maßnahmen eingeleitet, um die Gesellschaft uneingeschränkt zu verselbständigen, wobei die Organisationsform einer Akademie der Wissenschaften angestrebt wurde. Sie war im Kern durch Selbstergänzung und begrenzte Platzzahl der Mitglieder sowie durch Gliederung in Fachbereiche bereits vorhanden.

Vor allem wurde die Gesellschaft nun auch mit ihrem Plenum und ihren Abteilungen – seit 1950 Klassen – wissenschaftlich aktiv. In beiden Bereichen wurden wissenschaftliche Vorträge und Diskussionen durchgeführt. Initiiert von Prof. Dr. phil. Eduard Justi erschien 1949 der erste Band der als Publikationsorgan eingerichteten „Abhandlungen“. Im gleichen Jahre verlieh die Gesellschaft erstmalig die kurz zuvor gestiftete Carl-Friedrich-Gauß-Medaille. 1953 erhielt die Gesellschaft schließlich den Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechts. Mit dem Errichtungserlaß des Niedersächsischen Landesministeriums wurde ihr zugleich eine neue Satzung gegeben, in der freilich Teile der ehema-

ligen Satzung erhalten geblieben waren. 1971 erhielt die Gesellschaft eine in einigen Bereichen veränderte und schließlich 1993 ihre heute gültige Satzung, die sie im Geiste einer Akademie der Wissenschaften mit deutlich technischem Schwerpunkt auszufüllen bestrebt ist. In diesem Rahmen finden laufend wissenschaftliche Plenar- und Klassensitzungen statt. Zur Durchführung langfristiger Forschungsvorhaben hat die BWG eine Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, eine Kommission für Umwelt und Technik, eine Kommission für Recht und Technik und 2007 eine Kommission für Münzfunde und Geldgeschichte im Deutschland des Mittelalters und der Neuzeit eingesetzt. Von den jährlich erscheinenden „Abhandlungen“ sind bisher 57 Bände publiziert worden. Initiiert von Prof. Dr. techn. Karl Heinrich Olsen veröffentlicht die BWG seit 1983 Jahrbücher, die insbesondere über Vortragsveranstaltungen, Kommissionstätigkeiten und Personalien berichten.

Die Organe der BWG 1943 – 2007

Konstituierende Sitzung: 30.11.1943

Eröffnungssitzung: 09.12.1943 [siehe Abhandlungen der BWG **21** (1969), 8]

Erste Satzung: 1944 [siehe Abhandlungen der BWG **1** (1949), 169]

Zweite Satzung: 1953 [siehe Abhandlungen der BWG **5** (1953), 212]

Dritte Satzung: 1971 [siehe Abhandlungen der BWG **22** (1970), 291]

Vierte Satzung: 1993 [hier abgedruckt S. 10 ff.]

Präsidenten

1943-45: Fritz Gerstenberg; 1946-48: Gustav Gassner; 1949-50: Hans Herloff Inhoffen; 1951-53: Eduard Justi; 1954-56: Leo Pungs; 1957-59: Max Kohler; 1960-62: Hans Kroepelin; 1963-66: Paul Koeßler; 1967-70: Hermann Blenk; 1971-77: Karl Gerke; 1978-80: Herbert Wilhelm; 1981-86: Karl Heinrich Olsen; 1987-92: Gerhard Oberbeck; 1993-95: Werner Leonhard; 1996-1999: Norbert Kamp; seit 2000: Joachim Klein

Generalsekretäre

1943-45: Ernst August Roloff; 1946-48: Wilhelm Gehlhoff; 1949-50: Eduard Justi; 1951-53: Hermann Schlichting; 1954-1959: Hans Herloff Inhoffen; 1960-61: Hellmut Bodemüller; 1962-64: Hans Joachim Bogen; 1965-69: Hermann Schaefer; 1970-71: Karl Gerke; 1972-73: Arnold Beuermann; 1974-80: Karl Heinrich Olsen; 1981-82: Ulrich Wannagat; 1983-85: Hans Joachim Kanold;

1986-88: Egon Richter; 1989-91: Harmen Thies; 1992-94: Ulrich Wannagat;
1995-97: Helmut Braß; 1998-2000: Elmar Steck; seit 2001: Claus-Artur Scheier

Vorsitzende der Klassen

BIS 1954 SEKRETÄRE DER ABTEILUNGEN

Mathematik und Naturwissenschaften

1943-47: G. Cario; 1948-50: P. Dorn; 1951-53: H.H. Inhoffen; 1954-57: P. Dorn;
1958-60: H. Kroepelin; 1961: H. Poser; 1962-64: H. Hartmann; 1965-66:
H. Schumann; 1967-72: M. Grützmaker; 1973-76: U. Wannagat; 1977-80:
H.R. Müller; 1981-84: E. Richter; 1985-89: O. Rosenbach; 1990-91:
St. Schottlaender; 1992-94: H.-J. Kowalsky; 1995-97: H. Tietz; 1998-1999:
K. Schügerl; 2000: G. Müller; 2001-2003: J. Heidberg; 2004-2006: E. Winter-
feldt, seit 2007: Th. Hartmann

Ingenieurwissenschaften

1943-48: E. Marx; 1949-53: L. Pungs ; 1954-56 : O. Flachsbart; 1957-60:
W. Hofmann; 1961-64: H. Hausen; 1965-70: G. Wassermann; 1971-77:
H.W. Hennicke; 1978-79: Th. Rummel; 1980-83: M. Mitschke; 1984-93:
R. Jeschar; 1994-96: H.-G. Unger; 1997-2000: E. Stein; 2001-2005:
M. Lindmayer; seit 2006: P. Wriggers

Bauwissenschaften

1943-48: ?; 1949-53: Th. Kristen; 1954-62: F. Zimmermann; 1963-67: A. Pflüger;
1968-69: J. Göderitz; 1970-73: W. Wortmann; 1974: K.H. Olsen; 1975-78:
H. Duddeck; 1979-83: W. Höpcke; 1984-93: J. Herrenberger; seit 1994 verei-
nigt mit der Klasse für Ingenieurwissenschaften

Geisteswissenschaften

1943-48: W. Jesse; 1949-53: W. Gehlhoff; 1954-57 (Obmann): W. Jesse; 1958-61
(Obmann): H. Glockner; 1962-68 (Obmann): H. Heffter; 1969-78:
A. Beuermann; 1979-87: M. Gosebruch; 1988-89: H. Boeder; 1990-91:
G. Maurach; 1992-1998: C.-A. Scheier; 1999: G. Maurach; 2000: C.-A. Scheier;
seit 2001: H.-J. Behr

Satzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

(In Kraft seit 6.4.1993)

§ 1

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat durch eigene Tätigkeit und im Zusammenwirken mit anderen Gesellschaften der Wissenschaft zu dienen.

§ 2

Die Gesellschaft ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Ihr Sitz ist Braunschweig. Sie führt ein Dienstsiegel.

§ 3

Die Gesellschaft hat drei Klassen:

- die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften,
- die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
- die Klasse für Geisteswissenschaften.

§ 4

(1) Die Gesellschaft besteht aus ordentlichen und korrespondierenden Mitgliedern.

(2) Ordentliche Mitglieder können verdienstvolle Gelehrte werden, die ihren Wohnsitz in Niedersachsen haben. Sie sind zur regelmäßigen Teilnahme an den Sitzungen des Plenums und ihrer Klassen sowie zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeiten verpflichtet und gehalten, zu den Publikationen der Gesellschaft beizutragen. Ordentliche Mitglieder, die das 70. Lebensjahr vollendet haben, werden von den Pflichten entbunden, behalten jedoch ihre Rechte bei. Die Höchstzahl der ordentlichen Mitglieder, welche das 70. Lebensjahr noch nicht vollendet haben, beträgt:

- 30 für die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften,
- 40 für die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
- 30 für die Klasse für Geisteswissenschaften.

(3) Zu korrespondierenden Mitgliedern können, ohne Rücksicht auf ihren Wohnsitz, verdienstvolle Gelehrte berufen werden, denen eine regelmäßige persönliche Teilnahme an den Sitzungen und Arbeiten der Gesellschaft nicht möglich ist. Sie können an allen Sitzungen teilnehmen, haben aber kein Stimmrecht. Die Zahl der korrespondierenden Mitglieder ist nicht beschränkt.

(4) Ordentliche Mitglieder, die ihren Verpflichtungen nicht nachzukommen vermögen, können die Überführung in den Status eines korrespondierenden Mitglieds beantragen. Von ordentlichen Mitgliedern, die ohne gerechtfertigten Grund vier aufeinanderfolgenden Sitzungen des Plenums oder ihrer Klasse ferngeblieben sind, muß angenommen werden, daß sie ihren Verpflichtungen nicht mehr nachzukommen vermögen. Auf Vorschlag ihrer Klasse kann durch den Verwaltungsausschuß die Mitgliedschaft in die eines korrespondierenden Mitglieds umgewandelt werden.

§ 5

(1) Die Mitglieder werden auf Vorschlag von mindestens drei ordentlichen Mitgliedern und nach Antrag der zuständigen Klasse durch das Plenum in geheimer Abstimmung gewählt.

(2) Auf die Mitgliedschaft kann durch schriftliche Erklärung gegenüber dem Präsidenten verzichtet werden.

(3) Ein Mitglied kann wegen ehrenrührigen Verhaltens ausgeschlossen werden. Für das Verfahren gelten die Vorschriften über die Wahl.

§ 6

(1) Im Plenum und in den Klassen berichten die Mitglieder über eigene Arbeiten und die ihrer Mitarbeiter, die ordentlichen Mitglieder auch über Arbeiten anderer. Der Vorsitzende kann zum wissenschaftlichen Teil der ordentlichen Sitzungen Gäste, die von einem ordentlichen Mitglied eingeführt sind, einladen.

(2) Das Plenum hält in jedem Jahr mindestens eine Hauptsitzung ab. Es hört und erörtert Rechenschaftsberichte. Zu den Hauptsitzungen sind auch die korrespondierenden Mitglieder einzuladen.

§ 7

Die Gesellschaft gibt die „Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“ sowie ein „Jahrbuch“ heraus. Einzelheiten regelt die Druckschriftenordnung.

§ 8

Die Gesellschaft kann darüber hinaus eigene Forschungsarbeiten durchführen, Forschungsarbeiten ihrer Mitglieder oder Dritter unterstützen, wissenschaftliche Stellungnahmen abgeben und wissenschaftliche Tagungen, Symposien sowie Vorträge veranstalten. Um der Öffentlichkeit Einblick in wissenschaftliche Probleme zu geben und sie mit den Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeit bekanntzumachen, veranstaltet die Gesellschaft auch öffentliche Vorträge. Ferner kann die Gesellschaft wissenschaftliche Schriften und Berichte herausgeben oder ihre Herausgabe unterstützen.

§ 9

Die Gesellschaft verleiht, in der Regel jährlich zum Geburtstag von Carl Friedrich Gauß am 30. April, die „Carl-Friedrich-Gauß-Medaille“. Das Verfahren regeln die besonderen Bestimmungen für die Verleihung der Gauß-Medaille.

§ 10

(1) Die Leitung der Gesellschaft obliegt dem Präsidenten. Er beruft die Sitzungen des Plenums ein, stellt die Tagesordnung fest, leitet die Verhandlungen, hat bei allen mündlichen Abstimmungen für den Fall der Stimmengleichheit die entscheidende Stimme, führt den Vorsitz in allen Ausschüssen – soweit nicht andere Regelungen getroffen sind –, unterzeichnet die Sitzungsprotokolle und sorgt für die Ausführung der Beschlüsse. Er vertritt die Gesellschaft nach außen und hat die Aufsicht über die Geschäftsführung im Benehmen mit den Klassenvorsitzenden.

(2) Der Präsident wird aus dem Kreis der ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer.

(3) Die Stellvertretung des Präsidenten übernimmt als Vizepräsident der turnusmäßig älteste Klassenvorsitzende.

§ 11

(1) Die Leitung der Klassen obliegt den Klassenvorsitzenden; § 10 Abs. 1 Satz 2 gilt entsprechend.

(2) Die ordentlichen Mitglieder jeder Klasse wählen aus ihrem Kreis in geheimer Abstimmung den Klassenvorsitzenden so, daß jedes Jahr einer der Klassenvorsitzenden ausscheidet. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer.

(3) Die Klassenvorsitzenden betrauen mit ihrer Vertretung von Fall zu Fall ein ordentliches Mitglied der Klasse.

§ 12

(1) Dem Generalsekretär obliegen die Geschäftsführung, die Veranstaltung öffentlicher Vorträge und die Herausgabe von Veröffentlichungen der Gesellschaft.

(2) Der Generalsekretär muß seinen Wohnsitz in Braunschweig oder im näheren Umkreis von Braunschweig haben. Er wird aus dem Kreis der ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer. In dem Jahr, in dem der Präsident neu gewählt wird, soll ein Wechsel im Amt des Generalsekretärs nicht stattfinden.

§ 13

Der Präsident, die Klassenvorsitzenden und der Generalsekretär bilden den Verwaltungsausschuß. Dieser hat die Aufgabe, über Arbeitsvorhaben und Arbeitsweise der Gesellschaft zu beschließen, den Haushaltsplan aufzustellen und über Inventar und Vermögen der Gesellschaft im Rahmen der Beschlußfassung des Plenums zu verfügen. Der Präsident kann zur Beratung des Verwaltungsausschusses Mitglieder der Gesellschaft und andere Persönlichkeiten, deren Teilnahme im Interesse der Gesellschaft liegt, hinzuziehen.

§ 14

(1) Der Haushaltsplan ist vor Beginn des Haushaltsjahres (Kalenderjahr) aufzustellen und vom Plenum zu beschließen.

(2) Überschüsse früherer Jahre verbleiben der Gesellschaft; sie sind im Haushaltsplan auszuweisen.

(3) Die Gesellschaft hat nach Ende eines jeden Haushaltsjahres eine Rechnung aufzustellen. Die Rechnung ist, unbeschadet einer Prüfung durch den LRH nach § 111 LHO, durch die bei der Bezirksregierung Braunschweig eingerichtete Vorprüfungsstelle zu prüfen. Die Prüfung soll sich auf die Ordnungsmäßigkeit der Rechnungslegung sowie auf die wirtschaftliche und satzungsgemäße Verwendung der Mittel erstrecken.

Das Plenum beschließt ferner über die Entlastung des Verwaltungsausschusses. Die Entlastung bedarf der Genehmigung des MWK und des MF.

§ 15

Das Plenum beschließt ferner über die Geschäftsordnung, Druckschriftenordnung, Bestimmungen über die Verleihung der Gauß-Medaille und über Änderungen dieser Satzung.

§ 16

(1) Zu Wahlen und Beschlußfassungen gemäß § 14 Abs. 1 und 3 und § 15 muß mindestens die Hälfte der Anzahl der ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren anwesend sein.

(2) Die Wahlen und die Beschlüsse über Satzungsänderungen erfordern eine Stimmenmehrheit von zwei Dritteln aller anwesenden stimmberechtigten Mitglieder. Führt bei der Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs der erste Wahlgang zu keiner Zweidrittelmehrheit, so findet sofort ein zweiter Wahlgang statt. Wird auch hierbei die Zweidrittelmehrheit nicht erzielt, so ist in einem dritten Wahlgang gewählt, wer die absolute Mehrheit erreicht. Notfalls ist eine Stichwahl durchzuführen. Bei Stimmengleichheit entscheidet das Los.

(3) Bei den übrigen Beschlußfassungen und sonstigen Abstimmungen entscheidet die einfache Mehrheit der stimmberechtigten Anwesenden.

(4) Ordentliche Mitglieder können ihr Stimmrecht durch schriftliche Vollmacht auf ein anderes ordentliches Mitglied übertragen; in diesem Fall gelten sie als anwesend.

§ 17

(1) Die Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs bedarf der Bestätigung durch die LReg.

(2) Der Haushaltsplan und Änderungen dieser Satzung bedürfen der Genehmigung durch die LReg.

(3) Das Ergebnis der Wahlen der ordentlichen Mitglieder und der Klassenvorsitzenden, der Ausschluß eines Mitglieds und der Verzicht eines Mitglieds auf die Mitgliedschaft sind der LReg. anzuzeigen.

Übergangsbestimmungen

Die Satzung tritt mit dem Tag der Genehmigung in Kraft. Befristet auf fünf Jahre nach dem Inkrafttreten der Satzung können der Klasse für Ingenieurwissenschaften bis zu 45 ordentliche Mitglieder unter 70 Jahren angehören, wobei die Höchstzahl aller ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren in der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft auf 100 begrenzt bleibt.

Veranstaltungen der BWG

WissenschaftsSoirée 2007 am 25. Januar 2007

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft (BWG)
Kunstmuseum Wolfsburg
International Partnership Initiative (I.P.I)
Wolfsburg AG
phaeno
AutoUni

Ort: phaeno, Wolfsburg

Zeit: Beginn 18.00 Uhr

Moderation: Prof. Dr. Dr.h.c. Joachim Klein
Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Die WissenschaftsSoirée verstand sich als Beitrag einiger Braunschweiger und Wolfsburger Wissenschafts- und Kultureinrichtungen zu „Braunschweig – Stadt der Wissenschaft 2007“. Als Soiree kombinierte sie wissenschaftliche Vorträge und künstlerische Beiträge mit einem kulturellen Rahmenprogramm, so dass nicht nur der Kopf, sondern auch der Bauch und das Herz angesprochen wurden. Es ging um eine Popularisierung von Wissen. Erstes Thema war die scheinbar unbegrenzte Einsatzmöglichkeit von Computern als neue Kulturtechnik. Ziel der Veranstaltungsreihe war es, sich mit dem Computer als Alltagsgegenstand auseinander zu setzen. Die vierte Kulturtechnik (nach Lesen, Schreiben, Rechnen) ist nicht nur allgegenwärtig, sondern auch von größter sozialer und wirtschaftlicher Bedeutung. 2/3 aller Arbeitsplätze hängen inzwischen direkt und indirekt am Computer. Das Internet stellt eine Freizeitbeschäftigung dar, deren zeitlicher Umfang an den Fernsehkonsum heranreicht. Immer mehr öffentliche Angelegenheiten werden über Computer (Internet) geregelt, so dass sich Computer-Analphabeten ausgeschlossen fühlen müssen. Neben dieser Alltagserfahrung widmete sich die Reihe auch spezifischen Fragestellungen, wie z.B. eHealth oder Kognition und Computer. Die Veranstaltungen wurden jeweils musikalisch umrahmt. Im Kunstmuseum und im phaeno bestand die Möglichkeit zur Besichtigung der Ausstellung.

Programm

“Autos am Netz – Car-to-Car-Communication“

Heutzutage ist die Computertechnik aus der Automobilbranche nicht mehr wegzudenken. Ohne ausgeklügelte Elektronik sind die Anforderungen, die an ein

modernes Fahrzeug gestellt werden, nicht zu realisieren. Zu den jüngsten Elektronikentwicklungen und ihren möglichen Konsequenzen – nicht nur für den Autofahrer – referierten Prof. Dr. Klaus Jobmann vom Institut für Kommunikationstechnik der Leibniz Universität Hannover und Prof. Dr.-Ing. Jürgen Leopold, Leiter der Abteilung Entwicklung Fahrzeug-Elektrik/Elektronik, VW AG Wolfsburg.

Interdisziplinäres Symposium am 01. Februar 2007

Neue Perspektiven für die Stammzell-Medizin

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
Akademie für Ethik in der Medizin e.V., Göttingen
Evangelisches Klosterforum, Braunschweig

Ort: Kongress-Saal der Industrie und Handelskammer
Braunschweig

Zeit: von 14.00 bis 18.00 Uhr

Moderation: Prof. Dr.med.Claudia Wiesemann,
Landesbischof Dr. Friedrich Weber

Die Behandlung chronisch-entzündlicher oder degenerativer Krankheiten ist eine der Herausforderungen der Medizin unseres Jahrhunderts. Trotz medikamentöser Behandlung haben viele Patienten oft eine nur geringe Lebensqualität. Organtransplantation ist hier manchmal ein Ausweg, erfordert aber eine lebenslängliche immunsuppressive Therapie. Organtransplantationen sind zudem in Deutschland durch den Mangel an Spenderorganen begrenzt. Dennoch steigen die Erwartungen und Ansprüche chronisch Kranker an die Medizin und an das Versorgungssystem. Gibt es einen Ausweg aus diesem Dilemma?

Gewebezüchtung bietet hier einen aussichtsreichen Weg. Sie geht aus von der Entwicklung undifferenzierter Stammzellen in vitro zur Züchtung von organotypischen Geweben, die wegen ihrer genetischen Identität mit dem Spender eine bessere Gewebeverträglichkeit und eine Verminderung von Abstoßungsreaktionen versprechen. Alternativ ist auch der Weg einer Übertragung von Zellkernen erwachsener Personen in entkernte unbefruchtete Eizellen denkbar, die sich mit der kompletten Geninformation des „Spenders“ teilen.

Wie und mit welchen (toti- oder nur noch pluripotenten?) Stammzellen kann die Entwicklung zur Zellteilung und Gewebekonstruktion in Gang gesetzt werden? Wie laufen die Steuerungsprozesse für die spezifische Gewebeentwicklung ab, die den gewünschten „Ersatz“ des krankhaft veränderten Gewebes und eine funktionelle Integration des Ersatzgewebes mit dem Ziel einer Verbesserung der Organfunktion ermöglichen?

Das Embryonenschutzgesetz aus dem Jahr 1990 untersagt in Deutschland jede Form fremdnütziger und verbrauchender Forschung an Embryonen wie auch das reproduktive Klonen. In Großbritannien dagegen ist diese Forschung am sog. Präembryo erlaubt. Welche ethischen und rechtlichen Gründe sprechen für

diese unterschiedliche Handhabung? Gibt es biotechnologische Alternativen? Angesichts der notwendigen Grundlagen- und der klinischen Forschung, der internationalen Vernetzung und der politischen Globalisierung sind forschungsinterne und rechtliche Regularien und internationale Formen und Normen nötig, um den medizinischen Erfordernissen gerecht zu werden. Das erfordert den interdisziplinären Dialog und ein gesellschaftliches Problembewusstsein für eine mögliche Konsensfindung. Geht es doch um grundlegende Fragen des Menschenbildes.

Progammm

Begrüßung und Einführung

Prof. Dr. Dr.hc. Joachim Klein

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Vorträge

Prof.Dr.med. Wolfgang Engel, Göttingen

Adulte Stammzellen als Alternative zu embryonalen Stammzellen in der regenerativen Medizin

Prof.Dr.med. Jürgen Hescheler, Köln

Embryonale Stammzellen in der Forschung und in der regenerativen Medizin

Claudia Lerch, Berlin

Das deutsche Stammzellengesetz im Kontext der EU-Regelungen

Prof.Dr. med. Hartmut Kress, Bonn

Nutzung von Ergebnissen der embryonalen Stammzellforschung in ethischer Sicht

Prof.Dr.med. Klaus Gahl, Braunschweig

Schlussworte

Neue Perspektiven für die Stammzell-Medizin^{*}

Bericht über das interdisziplinäre Symposium in Braunschweig am 01.02.2007

SABINE FREUDENSTEIN

Am Sonnenberg 6, D-37181 Hardegsen

Forschung sowohl mit humanen adulten als auch mit nicht-humanen adulten und embryonalen Stammzellen war in Deutschland etabliert und ethisch kaum problematisiert, als 1998 die ersten Berichte über erfolgreiche in vitro – Vermehrungen menschlicher embryonaler Stammzellen (hES-Zellen) in den Fachorganen *Science* und *Proceedings of the National Academy of Sciences* erschienen. Die damit faktisch gewordene Möglichkeit, hES-Zellen in Kultur zu halten und zu züchten, führte zur Formierung einer neuen wissenschaftlichen Disziplin, der Stammzellforschung, die eine Vielzahl vormals einzelner Forschungsprojekte in Biologie und Medizin diskurs- und arbeitstechnisch zusammenschließt und schnell zu einem biomedizinischen Großprojekt avancierte, das, verbunden mit enormen Therapiehoffnungen, als förderungswürdig und damit forschungspolitisch sehr erfolgreich gilt. Aufseherregende Erkenntnisse auf diesem stärker technisch ausgerichteten Gebiet biologischer Forschung führten zu einer zunehmend sensibilisierten Wahrnehmung in der Gesellschaft und erzeugen dort immense Irritationen. Die Diskussion besonders in Deutschland mit seiner etablierten Technologiefolgenforschung in Ethik und Sozialwissenschaft entwickelte sich zu einer brisanten Diskurslandschaft in Wissenschaft, Gesellschaft und Politik, die häufig geprägt ist von gegenseitigem Nichtverstehen sowie fachwissenschaftlicher und moralischer Überforderung. Die Nutzbarmachung und damit instrumentelle Zerstörung menschlicher Embryonen steht dabei ebenso im Zentrum der Debatte wie die ökonomische Perspektive, die die Stammzellmedizin als Schlüsseltechnologie im globalen Wettbewerb um die effizientesten Wissenschaftsstandorte unter hohem Verwertungsdruck sieht. Im Fokus rechtlicher Überlegungen steht der Grundrechtskonflikt zwischen dem Schutz der Menschenwürde, diversen Missbrauchsgefahren und der Freiheit der Forschung. Sozialwissenschaftliche Überlegungen gelten dem Problem der Gesundheitsversorgung in Systemen mit hoher Kostensteigerung. Moderne Stammzellmedizin stellt die etablierten Grenzziehungen in den Bereichen Selbstverständnis des Menschen, Ordnung des Wissens und soziale Ge-

^{*} Vorgelegt von Klaus Gahl

rechtmäßigkeit grundsätzlich in Frage. Sie vereint die Konfliktpotentiale von Transplantationsmedizin, Reproduktionsmedizin, Mensch-Tier-Chimärismus und Gentechnik: Das Ausmaß der Problemverdichtung zeigt sich, wenn zugleich die gängigen Praktiken der Fortpflanzungsmedizin mit genetischer Diagnostik und Selektion, die Breite der sich entwickelnden Transplantationsmedizin und des *Tissue Engineering*, die Klonierung von Menschen, Gerechtigkeitsprobleme sowohl im Sinne der grundsätzlichen Orientierung subventionierter Forschung als auch der Kosten für Gesundheitssysteme oder Einzelpatienten, die eine solche Medizin mit sich bringt, zur Verhandlung stehen. Stammzellmedizin bewegt dieses Feld moralisch-gesellschaftlicher Fragen und stellt sie in neue Zukunftskontexte.

Mutig und engagiert muss sein, wer sich als Veranstalter, Vortragender oder Teilnehmer in dieser Diskurslandschaft an der heiklen Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Gesellschaft bewegt, um die dringliche Aufgabe einer sachgerechten und konstruktiven Technologie- und Wissenschaftsbewertung der Biomedizin in Deutschland wahrzunehmen. Das Symposium „Neue Perspektiven für die Stammzellmedizin“, veranstaltet am 1.2.2007 vom Evangelischen Klosterforum, der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft sowie der Akademie für Ethik in der Medizin stellte sich dieser Herausforderung, anknüpfend an das Stammzellsymposium vom Januar 2004 mit dem Ziel einer Bilanzierung der Entwicklung der letzten Jahre.

Kurze Einführung in biologische Grundlagen

Die Komplexität der verschiedenen Positionen mit ihrer spezifischen Rhetorik sowie die für Fachfremde unüberschaubare Fülle wissenschaftlicher Grundlagen lassen eine fachliche Einführung angemessen erscheinen, die leider weder von Veranstaltern noch Vortragenden vorgesehen war. Zu diesem Zweck mögen einige kurze Zusammenfassungen aus dem Supplement zum Gentechnologiebericht „Stammzellforschung und Zelltherapie“ (Wobus et al. 2006) dienlich sein.

Forschung an embryonalen Stammzellen reicht bis in die 1970er Jahre zurück, als aus den Stammzellen von Keimdrüsentumoren (Teratokarzinomen) embryonale Karzinomzellen (EC-Zellen) als Zelllinien etabliert wurden. **EC-Zellen** können sich in Kultur unbegrenzt vermehren, und in vitro Zelltypen aller drei Keimblätter, des Ektoderms, Mesoderms und Endoderms, differenzieren. EC-Zellen waren zudem imstande, an der Embryonalentwicklung teilzunehmen, wenn sie in die „innere Zellmasse“ eines anderen frühen Embryos – einer Blastocyste – eingefügt wurden, sodass chimärische oder Mosaik-Mäuse entstanden. Im Gegensatz dazu führten EC-Zellen zur Entwicklung von Tumoren (Teratokarzinomen), wenn sie in Gewebe außerhalb der Gebärmutter transplan-

tiert wurden. Die Erhaltung des für Stammzellen typischen undifferenzierten Status war von der Kultivierung auf Nährzellen abhängig. Im Gegenzug differenzierten EC-Zellen in vitro nur unter besonderen Bedingungen nach Induktion mit chemischen Agentien. Viele Befunde deuteten darauf hin, dass EC-Zellen die Entwicklungsfähigkeit embryonaler Zellen teilweise verloren hatten und genetische Veränderungen (Genmutationen, Chromosomenveränderungen) aufgetreten waren.

Der logische Schritt, embryonale Zellen direkt aus dem Embryo ohne den Umweg über Teratokarzinome zu kultivieren, ließ nicht lange auf sich warten. Die in vitro-Kultur embryonaler Stammzellen (**ES-Zellen**) der Maus ohne erkennbaren Verlust des Differenzierungspotentials gelang erstmals im Jahr 1981 unabhängig in zwei Gruppen. Die ES-Zellen stammten aus der Inneren Zellmasse (ICM) von Blastozysten (2-3 Tage post coitum) oder aus dem Epiblasten des Eizylinderstadiums vor oder kurz nach der Gastrulation. Die Pluripotenz der ES-Zellen wurde in vivo durch die Integration in Blastozysten nachgewiesen: Die entstandenen Maus-Chimären belegten, dass ES-Zellen an der Embryonalentwicklung teilnahmen. Entscheidend war, dass sich ES-Zellen auch unter in vitro-Bedingungen in zahlreiche somatische sowie Zellen der Keimbahn entwickeln können. Dabei ist anzumerken, dass die Begriffe Totipotenz, Pluripotenz und Multipotenz aus Mangel an eindeutigen Markern unterschiedlich definiert werden. Da die Totipotenz von Zellen im Rechtstext des EschG definitorisch relevant ist, wurde viel an der Neubestimmung des Begriffes gearbeitet (Hauskeller 2005).

Ein dritter Zelltyp pluripotenter embryonaler Stammzellen sind embryonale Keimzellen (**EG-Zellen**), die aus primordialen Keimzellen in den Genitalleisten des Embryos isoliert und kultiviert wurden. Auch EG-Zellen zeichnen sich durch hohe Proliferations- und Differenzierungsfähigkeit in vitro aus und sind durch weitgehend identische Zellmarker aller Stammzelllinien charakterisierbar. EG-Zellen zeigen jedoch unterschiedliche maternale oder paternale Prägungen (*Imprinting*).

Murine (m)ES-Zellen wurden zunächst auf Nährrasen (*feeder layer*) von embryonalen Bindegewebszellen (Maus-Fibroblasten, MEF) kultiviert. Einmal etabliert, zeigen mES-Zellen in vitro unbegrenztes Proliferationsvermögen mit einer sehr kurzen Generationszeit (etwa 12-15h) und bewahren ihre Entwicklungsfähigkeit in alle Zelllinien (*lineages*) des Organismus. In vitro sind mES-Zellen weitgehend genetisch stabil und behalten einen normalen Karyotypus auch nach längerer Kulturdauer.

Da die **Erzeugung von ES-Zelllinien** ursprünglich nur auf einem *feeder layer* aus inaktivierten Maus-Fibroblasten erfolgreich war, wurde angenommen, dass diese Zellen Signale aussenden, die entweder Selbsterneuerung fördern oder Differenzierung hemmen. Der trophische Faktor, der diese Wirkung erzielte,

wurde als LIF (*leukemia inhibitory factor*) identifiziert. LIF ist ein lösliches Glykoprotein und gehört der Interleukin-6-Familie der Zytokine an. Diese Zytokine regulieren über die membrangebundene Rezeptoruntereinheit gp130 eine Vielzahl von Zellfunktionen, indem sie die Signaltransduktion über eine intrazelluläre Kaskade aktivieren. Andere Zytokine der IL-6-Familie zeigen hinsichtlich der Erhaltung der Pluripotenz von mES-Zellen ähnliche Eigenschaften. Fehlen diese IL-6-Signalmoleküle, werden die *feeder*-Zellen entfernt oder eines der Signalmoleküle des gp130-Komplexes inaktiviert, wird die Differenzierung von ES-Zellen aktiviert. Entscheidend ist also, dass Zytokine in richtiger Konzentration vorliegen, um die Selbsterneuerung der Zellen zu fördern.

Zur Bestimmung des undifferenzierten Status von ES-Zellen (*stemness*) sind verschiedene Zelloberflächenantigene und molekulare Marker geeignet. Undifferenzierte mES-Zellen zeigen ein spezifisches Antigen an der Zelloberfläche (SSEA-1), membrangebundene Rezeptoren (gp130) und sind durch hohe Aktivität von alkalischer Phosphatase (ALP) und Telomerase charakterisiert. ES-Zellen exprimieren den für frühe embryonale Zellen und Keimzellen charakteristischen Transkriptionsfaktor Oct 3/4, dessen Expressionsniveau für die Erhaltung der Pluripotenz erforderlich ist. Die Selbsterneuerungsfähigkeit von ES-Zellen hängt also vom stöchiometrischen Gleichgewicht vieler Signalmoleküle ab, deren mögliche Rolle noch genauerer Aufklärung bedarf.

Arbeiten zur Differenzierungsfähigkeit von mES-Zellen *in vitro* waren bis zum Ende der 1990er Jahre auf eine relativ kleine Gruppe von Forschern begrenzt. Das änderte sich schlagartig, als es 1998 der Gruppe von James Thomson gelang, Zelllinien menschlicher embryonaler Stammzellen aus *in vitro* befruchteten Präimplantationsembryonen zu etablieren. **Humane ES-Zellen** (hES) teilen einige grundlegende Eigenschaften mit mES-Zellen, wie Oct 3/4-Expression, hohe Telomerase-Aktivität und nach Transplantation in immunsupprimierte Mäuse die Bildung von Teratomen, die Abkömmlinge aller drei Keimblätter enthalten. Auch hES-Zellen können ihr Proliferationsvermögen in Kultur über viele Passagen aufrechterhalten, allerdings mit einer längeren Generationszeit (30-35h) als mES. Sie lassen sich jedoch schwerer in Einzelzellen dissoziieren und klonal vermehren. hES-Zellen entwickeln sich in Aggregaten zystischer Embryoidkörper (*embryoid bodies*) und sie enthalten spezifische Proteoglykane und Zelloberflächenantigene, die in mES-Zelllinien fehlen. In hES-Zellen reicht LIF nicht aus, um die Differenzierung zu verhindern, sie benötigen zusätzlich den basischen Fibroblastenwachstumsfaktor (bFGF) für ihre Vermehrung. Für hES-Zellen gilt in noch stärkerem Umfang als für mES-Zellen, dass die Signalstrukturen, die den Erhalt der Pluripotenz steuern, noch nicht ausreichend bekannt sind. Die Kenntnis dieser Faktoren sowie der Mechanismen, die der Regulation früher Differenzierungsprozesse in Stammzellen zugrunde liegen und damit die Ausarbeitung verlässlicher Differenzierungs- und Kulturprotokolle

ist jedoch für die standardisierte und kontrollierte Vermehrung von hES-Zellen mit dem Ziel einer möglichen zelltherapeutischen Anwendung unumgänglich.

Bisherige Differenzierungsprotokolle führten nicht zu genetisch einheitlichen Zellpopulationen, sondern zu gleichzeitiger Entwicklung verschiedener Zelltypen. Um diese Einschränkungen bei der Analyse von hES-Zellen und ihren differenzierten Abkömmlingen zu überwinden, haben sich molekulargenetische Methoden als unentbehrlich erwiesen. DNA kann durch konventionelle Infektion, Transfektion oder Elektroporation in Stammzellen eingeführt werden. Die Entdeckung von Thomas und Capecchi 1987, dass klonierte oder genomische DNA, die in ES-Zelllinien eingeführt wird, an spezifischen chromosomalen Loci homolog rekombinieren kann, hat die Genfunktionsanalyse revolutioniert. Die Fähigkeit, durch **Gen-Targeting** in ES-Zellen nahezu jede Mutation in das Genom einzufügen, stellt ein einzigartiges Werkzeug zur Aufklärung von Genfunktionen dar. Stammzellen können so in Richtung des gewünschten Zelltyps gelenkt werden, indem man sie spezifischen Differenzierungsfaktoren aussetzt und Schlüsselgene der Entwicklung, sogenannte Entwicklungskontrollgene, genetisch verändert. Diese genetischen Manipulationen eröffnen die Möglichkeit, Entwicklungsprozesse humaner Zellen und die Entstehung von Krankheiten in vitro zu analysieren.

Mit hES-Zellen kann damit direkt an menschlichen pluripotenten Zellen die Wirkung toxischer Substanzen auf Differenzierungsprozesse während sehr früher Entwicklungsstadien untersucht werden. Ein mES-Zell-Differenzierungsmodell wurde unter anderem eingesetzt, um die Wirkung von Medikamenten auf die Gefäßzellbildung zu untersuchen. Sauer und Wartenberg zeigten die molekularen Mechanismen auf, die für die teratogene Wirkung von Thalidomid verantwortlich sind. Thalidomid ist ein potentes Teratogen, das in den 1960er Jahren als Arzneimittel bei Schwangeren eingesetzt wurde und weltweit embryonale Fehlbildungen auslöste. Das Interesse aus Pharmakologie und Embryonaltoxikologie an derartigen **Testsystemen** ist verständlicherweise immens.

In vielen Geweben des erwachsenen Menschen existieren zeitlebens **adulte Stammzellen**, die gemeinsam mit proliferationsfähigen ausgereiften Zellen die wichtigste Quelle homöostatischer und regenerativer Prozesse im Säugetierorganismus darstellen. Die Frage, was eine adulte oder somatische Stammzelle genuin auszeichnet, kann annäherungsweise durch vier Kriterien beschrieben werden: 1) Die Fähigkeit zu langfristiger Proliferation und Selbsterneuerung (*self-renewal*), 2) Tochterzellen sind in der Lage, sich in mehrere Zelltypen zu differenzieren, 3) Möglichkeit in G0-Phasen einzutreten (keine mitotische Teilung), 4) Fähigkeit, Gewebe zu erneuern. Am genauesten sind diese Kriterien bisher für hämatopoetische Stammzellen nachgewiesen. Im entwickelten Organismus befinden sich die aktivsten Stammzellen in den Krypten des Darmepithels, im Knochenmark und in der Haut. Adulte Stammzellen sind in spezifi-

schen Gewebekompartimenten („extrazelluläre Nische“) lokalisiert und antworten in dieser spezifischen Umgebung auf stimulierende oder hemmende Signalmoleküle des Gewebes, in dem sie sich aufhalten. Sie können jedoch auch isoliert und in andere Organismen übertragen werden. Diese Eigenschaft ist die Grundlage für die bereits seit vielen Jahren klinisch erfolgreich eingesetzte Transplantation von Knochenmarkstammzellen zur Behandlung von Blutkrankheiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Stammzellen immunologisch individuell sind, somit vom Immunsystem des Empfängers erkannt und bei Unverträglichkeit abgestoßen werden („allogen“). Produkte aus Stammzellen des gleichen Organismus sind hingegen genetisch identisch und daher voll verträglich („autolog“). Isolierung, angestrebte Vermehrung und Differenzierung adulter Stammzellen in Kultur erfordern ihre genaue Definition und Charakterisierung. Sie sind im Vergleich zu ES-Zellen durch bestimmte Eigenschaften und Marker identifizierbar. Während der letzten Jahre wurde in zahlreichen Arbeiten berichtet, dass sich adulte Stammzellen unter bestimmten Bedingungen auch in Zelltypen anderer Gewebelinien entwickeln könnten (*multilineage capacity*). Diese mögliche Flexibilität im Entwicklungspotential wurde als „Plastizität“ oder „Transdifferenzierungsfähigkeit“ bezeichnet. Abhängig von spezifischen Signalen der Mikroumgebung befinden sich Stammzellen in verschiedenen Zellzyklusphasen auch in unterschiedlichen Differenzierungszuständen. **Epigenetische Prozesse**, wie Histonacetylierung und DNA-Methylierung sind zellzyklusabhängig und reversibel und können durch nachfolgende Transkriptionsregulation sowie Apoptose (programmierter Zelltod) zu einer Transdifferenzierung führen. Neben dem Zellzyklus spielen weitere intrinsische Faktoren eine Rolle für den Stammzellstatus wie Expression von Adhäsionsmolekülen, Telomerlänge oder die Expression von Zytokin-Rezeptoren. Extrinsische Faktoren schließen die Mikroumgebung sowie Signaltransduktionsmechanismen auf organischer Ebene ein: So können die Art der Gewebeschädigung (chemisch, physikalisch, mechanisch) und die Transplantationsmethode das *homing* von Stammzellen beeinflussen. Die Aufklärung grundlegender Mechanismen der epigenetischen Regulation und ihre Beziehung zu Phänomenen der Plastizität von Stammzellen werden entscheidend zu Verständnis der Stammzellbiologie und Fortschritt der regenerativen Medizin beitragen.

Samenzellen als Alternative zu embryonalen Stammzellen in der regenerativen Medizin

Grundlage für die lebenslange Differenzierung männlicher Keimzellen sind spermatogoniale Stammzellen (SSCs), die etwa 0,03 % aller Testiszellen ausmachen. Gameten der Maus entwickeln sich aus primordialen Keimzellen (PGCs), die während der frühen Embryonalentwicklung (zwischen E10 und

E13) in die fetale Genitalleiste einwandern und sich dort, umgeben von Sertoli-Zellen, zu Gonozyten differenzieren, die wenige Tage nach der Geburt die Spermatogenese initiieren. Prof. Dr. Wolfgang Engel, Institut für Humangenetik der Universität Göttingen, berichtet über Arbeiten zur Generierung einer spermatogonialen Stammzelllinie aus mES-Zellen. Um SSCs spezifisch selektieren zu können wurden Fusionsgene konstruiert, die die Promotorregion zweier Spermatogenese-spezifischer Gene (Stra8 – *stimulated by retinoic acid gene 8*; Prm1 – Protamin 1) an die kodierenden Regionen für Fluoreszenzfarbstoffe (EGFP – *Enhanced Green Fluorescence protein*; DsRed – *Discosoma speciosa Red Fluorescence protein*) koppelt. Beide Reportergene enthalten zudem das Neomycin Phosphotransferase II Gen (NEO). NEO verleiht Resistenz gegenüber dem Zytotoxin G 418, einem aminoglykosidischen Antibiotikum, und fungiert als wirkungsvoller Selektionsmarker. mES-Zellen wurden anschließend mit dem Stra8-EGFP-Fusionsgen transfiziert und in Anwesenheit von G 418 auf Neomycinresistenz selektiert. Induziert man die so gewonnenen Zellen mit Retinsäure, einem lokalen Mediator entwicklungsspezifischer Prozesse bei Wirbeltieren, wird der nur in prämeiotischen Keimzellen aktive Stra8-Promotor angesteuert und das EGFP-Gen exprimiert. Mit Hilfe der Durchflusszytometrie (FACS – *Fluorescence activated cell sorting*) können die grün fluoreszierenden EGFP-positiven Zellen isoliert werden, bei denen es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um SSCs handelt. Nach längerer Induktion durch Retinsäure entstehen aus diesen Zellen durch Meiose haploide Spermien-ähnliche Keimzellen. Erneute Transfektion mit dem Prm1-DsRed-Konstrukt mit anschließender Neomycinselektion führt zu einer Aktivierung des nur in haploiden Zellen aktiven Protamin1-Promotors. Dadurch wird DsRed exprimiert, die Zellen fluoreszieren rot. Mit Hilfe des dargestellten Verfahrens können embryonale Stammzellen *in vitro* ebenso zu haploiden Keimzellen differenzieren. Transplantiert man die aus ES-Zellen nach Retinsäurebehandlung entstandenen (grünen) spermatogonialen Stammzellen in die Tubuli seminiferi von Busulfan-behandelten männlichen Mäusen (Busulfan zerstört alle Keimzellen), finden sich Wochen später in den Tubuli dieser Mäuse EGFP- und DsRed-exprimierende Zellen. Ein Beweis für die *in vivo* – Differenzierung spermatogonialer Stammzellen zu haploiden Keimzellen. Aus den Kulturüberständen isolierte Ds-Red-positive Zellen zeigten in ihrer Morphologie und Anfärbbarkeit zumindest spermienähnliche Zellen mit beschränkter Progressivmotilität. Nach intrazytoplasmatischer Spermieninjektion (ICSI) und Transfer der Embryonen in den Uterus pseudoschwangerer Mäuse wurden lebensfähige Tiere geboren.

Wurden die DsRed positiven Klone in Abwesenheit von LIF kultiviert, veränderte sich ihr bisher ES-zellspezifischer Phänotyp in *embryoid body*-ähnliche Strukturen. Mittels Isolierung von RNA und RT-PCR (*Polymerase Chain Reaction* mit Reverser Transkriptase) konnte die Expression spezifischer Gene

für prämeiotische, meiotische und postmeiotische Stadien der Keimzell-differenzierung analysiert werden. Alle untersuchten Spermatogenese-Marker waren nachweisbar. Mit derselben Methode konnte über die Expression verschiedenster zellspezifischer Gene nachgewiesen werden, dass SSCs während der Differenzierung in *embryoid bodies* spontan zu Abkömmlingen aller drei Keimblätter differenzieren können, beispielsweise in Cardiomyozyten, gefäß- oder muskelspezifische Zellen oder dopaminerge Neuronen, was für die Pluripotenz adulter spermatogonialer Stammzellen spricht. Unter physiologischen Bedingungen könnte die Interaktion mit Sertoli-Zellen im Hodengewebe die Spermatogenese initiieren, indem SSCs gewebespezifisch differenzieren, die *multilineage*-Differenzierung also inhibiert wird. Ein alternatives Erklärungsmodell ist die genetische Reprogrammierung von SSCs während und abhängig von den Bedingungen der in vitro-Kultur.

Die Göttinger Experimente kommen nicht ganz unerwartet. Kanatsu-Shinohara hatte 2004 die Isolierung pluripotenter Stammzellen aus neonatalen Maus-Testis publiziert. Die Anreicherung entsprechender Zellen aus adultem Hodengewebe der Maus ist allerdings erst vor kurzem den deutschen Forschern geglückt. Die Kommentare der *scientific community* zu diesen Ergebnissen reichen von begeistert bis skeptisch. „Wenn das auch beim Menschen gelingen würde, wäre das eine tolle Sache. Aber ich bin vorsichtig geworden...“ – so Hans Schöler, Direktor des Max-Planck-Institutes für molekulare Biomedizin in Münster in einem Interview. Sicher müssen weitere Studien zeigen, ob sich die SSC-Linie auch über längere Passagierung hinweg stabil verhält.

Die Arbeiten der Göttinger Wissenschaftler belegen das *multilineage* - Differenzierungspotential der sogenannten multipotenten adulten Keimbahn-Stammzellen und eröffnen eine mögliche Alternative zu embryonaler Stammzellforschung. Die fieberhaft bearbeitete Übertragung der Forschungsergebnisse auf humane SSCs haben möglicherweise ein großes Potential für Untersuchungen zu Keimzellendifferenzierung und Reproduktionsgenetik, epigenetischer Reprogrammierung sowie genetischer Krankheiten.

Angesichts dieser eindrucksvollen Ergebnisse erscheint es unnötig, mit der Stammzellforschern eigenen Rhetorik die zukünftigen Möglichkeiten der regenerativen Medizin (kausale Therapien bei Herzinfarkt, Diabetes, Alzheimer, Chorea Huntington, Osteoporose, Autoimmunkrankheiten, ja gar Krebs entwickeln zu können) in höchsten Tönen anzupreisen, die eher an die rauschende Metaphorik des Feuilletons erinnern. Die normativ-appelative Qualität des Heilungsargumentes dient dabei häufig, bewusst oder unbewusst, in einer stark verkürzten Form der Rechtfertigung angestrebter politischer Liberalisierung der Forschungsfreiheit und einer damit einhergehenden Makroallokation. Gesetzeslage und damit zusammenhängend die Richtung der Wissenschafts-Investitionen haben in verschiedenen Ländern unterschiedliche Forschungs-

schwerpunkte und Wissenskomplexe zum Feld Stammzellforschung hervorgebracht, die in der internationalen Wissenschaft und in der Erschließung von Märkten konkurrieren. Die Gefahr des internationalen Rennens um die ersten Preise in der Stammzellforschung besteht sehr real in übereilten klinischen Versuchen mit Stammzellen embryonalen oder adulten Typs und bedarf eingehender und sachlicher Untersuchung.

Embryonale Stammzellen in der Forschung und in der regenerativen Medizin

Prof. Dr. Jürgen Hescheler, Institut für Neurophysiologie der Universität Köln, leitet seinen Vortrag über embryonale Stammzellen in Forschung und regenerativer Medizin mit einem kurzen Bericht über eine europäische Konferenz zum Thema Patienten und Stammzellen ein und plädiert für eine ausreichende Vertretung der Patientenperspektive in der allgemeinen Debatte – aus den beschriebenen Gründen ein unglücklicher Einstieg. Auch das werbende Plädoyer für therapeutischen Nutzen der Stammzellmedizin beispielsweise bei Herzregeneration nach Infarkt, Leberregeneration, Läsionen des Rückenmarks oder Inkontinenz bleibt nicht aus. Auch hier sei angemerkt, dass für das Gewicht des Heilungsargumentes in der Stammzelldiskussion die prinzipiellen und konkreten Prognoseschwierigkeiten bezüglich erfolgreicher Therapiedurchführung von großer Bedeutung sind und zu mehr rhetorischer Zurückhaltung Anlass gäben. In Bezug auf die allgemeine gesellschaftliche Diskussionsstruktur ist besonders im Kontext der ES-Zellforschung die argumentative Dominanz scheinbar neutraler wissenschaftlicher Termini problematisch. Durch unkritische oder strategische Verwendung metaphorischer und moralisch auf- oder entladender Formulierungen wird der Diskussions- und Erkenntnishorizont teilweise erheblich verzerrt. Gerade im Bereich der Stammzellforschung, wo es um Verständnis dessen geht, was ein Embryo, eine Blastozyste, Totipotenz etc. sein könnte, ist ein hohes Maß an Sensibilität und Umsicht gegenüber präformierenden Definitionsmonopolen gefragt. Die Möglichkeit zu sachgerechter und ergebnisoffener Beurteilung, die vor allem in der ethischen Diskussion von naturwissenschaftlicher Seite notorisch gefordert wird, sollte nicht durch politisch orientierten Präsentationsstil eingeengt werden, auch wenn deutsche Stammzellforscher zweifelsfrei unter hohem Druck stehen.

Für Forschungsarbeiten an hES-Zellen in Deutschland existiert mit dem Stammzellgesetz (StZG) ein Erlaubnisvorbehalt, der wichtige Grundlagenforschung prinzipiell ermöglicht, dessen Stichtagsregelung (die ausschließlich den Import von hES-Zellen zulässt, die vor dem 1.1.2002 hergestellt wurden) aber zunehmend zum Forschungshindernis wird. Von den Ende 2005 weltweit etwa 400 etablierten hES-Zelllinien sind 73 im Stammzell-Register des NIH (*Natio-*

nal Institutes of Health) aufgeführt. 52 dieser Linien sind jedoch entweder nicht lieferbar, konnten in Kultur nicht vermehrt werden oder wurden aus nicht erläuterten Gründen von Deponenten zurückgezogen. Tatsächlich sind gegenwärtig 21 hES-Zelllinien des NIH-Registers für die deutsche Forschung verfügbar. Bei einigen dieser Zelllinien bestehen seit kurzem Zweifel an ihrer genetischen und epigenetischen Stabilität. Neuere Linien, die beispielsweise ohne Kultivierung mit tierischen *feeder*-Zellen angelegt wurden und künftig therapeutisch nutzbar sein könnten, sind nach dem StZG vom Import nach Deutschland ausgeschlossen. Der Optimierung experimenteller Bedingungen, unter denen an hES-Zellen geforscht werden kann, widmet sich Heschelers Projekt zur Entwicklung von verbesserten Kultivierungsmethoden und neuen Kryokonservierungsprotokollen für hES-Zellen, das 2006 von der Zentralen Ethikkommission und der zuständigen Bundesoberbehörde genehmigt wurde.

Tatsächlich ist die zellbiologische Korrelation zwischen Tumor- und Stammzellen, deren Wachstum über ähnliche Signalwege reguliert wird, sehr eng. Dysregulation entsprechender Signalkaskaden und stammzellspezifischer Genexpression, Aktivierung von Onkogenen und/oder Tumorsuppressorgenen, Veränderung von Adhäsionsmechanismen und Apoptoseprozessen können dazu führen, dass Stammzellen zu Tumorzellen werden. Spenderzellen für etwaige Transplantationen müssen folglich hoch selektive Isolationsverfahren durchlaufen. Für ES-Zellen sind zunehmend Verfahren von Bedeutung, bei denen frühe gewebespezifische Vorläuferzellen isoliert werden. Diese *progenitor cells* verfügen neben einem begrenzten Potential zur Selbsterneuerung noch über ein beachtliches Proliferationsvermögen und die Fähigkeit, differenzierte Zellen zu bilden. Sie können entweder *in vitro* in spezialisierte Phänotypen differenziert werden, oder *in vivo* im Kontext des Zielgewebes ausreifen. Die Isolierung solcher Vorläufer- oder gewebespezifischer Stammzellen aus differenzierenden ES-Zellen stützt sich auf zwei Strategien:

1. Die spezifisch differenzierten Zelltypen werden über Oberflächenmarker mit Hilfe der Durchflusszytometrie (FACS) oder magnetisch aktivierter Zelltrennung (*magnetic activated cell sorting* – MACS) gewonnen.
2. ES-Zellen werden genetisch markiert, indem Selektionsmarker in die Zellen eingeführt werden. Bei dieser *lineage selection* genannten Strategie wird ein Expressionsvektor mit einer Antibiotikum- Resistenzkassette (z.B. Neomycin-Gen) unter der Kontrolle eines zelltypspezifischen (beispielsweise kardialen) Promotors in ES- Zellen transfiziert. Durch Reportergenexpression und FACS- Selektion konnten relativ reine (99,6%) Kardiomyozytenpopulationen gewonnen werden, die im Tierversuch auf ihre therapeutische Wirkung untersucht wurden. Die transplantierten Kardiomyozyten zeigten nach Injektion in das ventrikuläre Myokard adulter dystrophischer (mdx) Mäuse sowie nach synthetischer Infarzierung funktionelle Integration in das endogene

Herzgewebe, charakteristische Sarkomerproteine und elektromechanische Kopplung mit den Herzzellen des Wirtstieres. Ein Verlust an funktionellen Kardiomyozyten ist der Hauptgrund für die Entwicklung von Herzkrankungen insbesondere Kardiomyopathien, die schließlich zu Herzinsuffizienz führen. Da adulte Kardiomyozyten nicht regenerieren, ist Herztransplantation bisher die einzige kausale therapeutische Möglichkeit bei schwerer Herzinsuffizienz. Heschelers Untersuchungen zeigen, dass die zelluläre Kardiomyoplastie eine alternative Therapieform darstellen könnte, sollte es gelingen, aus ES-Zellen gewonnene Kardiomyozyten, deren Genexpressionsmuster und funktionelle Eigenschaften mit nativen Zellen nahezu identisch sind, in ausreichend reiner Form zu isolieren, sowie immunologische Abwehrreaktionen, virales Infektions- und Tumorigeneserisiko auszuschließen.

Das zeigt erneut die Notwendigkeit, das bisher nicht ausreichend verstandene funktionell aktive Genom von ES-Zellen, deren intrazelluläre Signalwege und Regulationsmuster sowie die Netzwerke epigenetischer Regulation zu erforschen. Stammzellen exprimieren eine große Anzahl typischer Transkripte, nämlich Signalfaktoren, Transkriptions- (bei Herzzellen beispielsweise GATA-Proteine sowie Koaktivatoren des GATA-4-Proteins wie Nkx-2.5) und Translationsfaktoren sowie Proteine, die mit DNA-Reparatur, dem Proteinabbau und der Proteinfaltung korreliert sind. Eine auffällige Gruppe von Transkripten ist bis heute nicht identifiziert und in ihrer Funktion unbekannt. Mehrere Gruppen haben inzwischen die über *Microarray*-Technik gefundenen Transkriptomprofile von hES-Zelllinien veröffentlicht. Die Einführung der seriellen Analyse der Genexpression (SAGE – eine sequenzabhängige Technik, bei der man die in einer Zelle vorhandenen Transkripte mit Hilfe kurzer Sequenzabschnitte – *tags* – auffinden und identifizieren kann) ermöglicht die Erfassung quantitativer Daten. Nach den bisher verfügbaren Transkriptom-Daten besitzen ES-Zellen vermutlich spezifische molekulare Marker, die mit *stemness* korreliert sind. Die Entscheidung der Zelle zwischen Replikation (*self-renewal*) oder Differenzierung könnte durch Schwellwertkonzentrationen molekularer Determinanten beeinflusst werden, die die Weichen für das weitere Schicksal der Stammzelle stellen. Transkriptom-Analysen reichen definitiv nicht aus, um die molekularen und zellulären Eigenschaften von Stammzellen zu beschreiben. Die Bestimmung des Status von Proteinen und Peptiden in den Zellen (*proteomics*) und darüber hinaus des Chromatins (*chromatinomics*) werden in der „post-genomischen Ära“ eine immer größere Rolle bei Charakterisierung und Definition von Stammzellen spielen. Viel zu tun also. Hescheler spricht sich abschließend für eine Rückkehr der Stammzellmedizin zu forscherscher Normalität aus, weg von spektakuläre Wellen schlagenden Ergebnissen und einer zu hohen gesellschaftlichen Beachtung. Ein verständlicher Wunsch mit verständlicherweise hohem Streitwert.

Das deutsche Stammzellgesetz im Kontext der EU-Regelungen

In Deutschland wird der rechtliche Rahmen für die Forschung an ES-Zellen durch zwei Gesetze vorgegeben: Das Embryonenschutzgesetz (EschG) und das Stammzellgesetz (StZG). Beide Gesetze beschränken die in der Verfassung niedergelegte Freiheit der Forschung und bedürfen daher einer verfassungsrechtlichen Rechtfertigung: Nur kollidierende Grundrechte Dritter und andere mit Verfassungsrang ausgestattete Rechtswerte sind imstande, die Wissenschaftsfreiheit zu begrenzen, unter ihnen der Lebensschutz des Embryo, die in Art. 1 GG garantierte Menschenwürde, aber auch das Recht auf Gesundheitsschutz und gesundheitliche Versorgung. Dabei sind Gesetze als Ergebnis eines politischen Diskurses zu verstehen, in den Risikofolgenabschätzung und weltanschauliche Parameter in Form einer rechtlichen Gestaltung von Normzielen einfließen. Der daraus resultierende Auftrag an die verwaltende Bundesoberbehörde (Robert-Koch-Institut, RKI) besteht darin, diese Normen umzusetzen, d.h. den Regelungsabsichten des Gesetzestextes zu entsprechen. In Deutschland verlaufe der begleitende öffentliche Meinungsbildungsprozess ungewöhnlich lebhaft, so Claudia Lerch, Juristin am Robert-Koch-Institut Berlin. Der Zielkonflikt, die Wahrung ethischer Maximen bei einer vertretbaren deutschen Teilnahme an medizinischem und wissenschaftlichem Fortschritt, erfordere einen Diskussionsstil, der zwischen ethischen, politischen und rechtlichen Argumenten unterscheide.

Die maßgeblichen Regeln zur Gewinnung embryonaler Stammzellen aus menschlichen Embryonen enthält das EschG, das am 1.1.1991 in Kraft getreten ist. Sinn und Zweck dieses Strafgesetzes liegen darin, mögliche Missbräuche neuer Fortpflanzungstechniken zu verhindern, beispielsweise die gezielte Erzeugung menschlicher Embryonen zu Forschungszwecken. Das Gesetz verbietet in § 1 Abs. 1 Nr. 2 EschG die künstliche Befruchtung zu jedem anderen Zweck als der Herbeiführung einer Schwangerschaft. Damit ist die Erzeugung menschlicher Embryonen zu Zwecken der Stammzellgewinnung ebenso strafrechtlich untersagt wie Abgabe oder Erwerb eines Embryos (§ 2 EschG) zu einem nicht seiner Erhaltung dienlichen Zweck. Dabei ist die Frage, woher der Embryo stammt, für die Strafbarkeit nicht relevant: Auch der Import von Embryonen zu Forschungszwecken aus dem Ausland ist untersagt. Embryonale Stammzellen werden aus menschlichen Embryonen im 60 – 120 – Zellstadium isoliert, in dem nach heutiger Kenntnis keine Totipotenz mehr besteht. Damit sind ES-Zellen keine Embryonen im Sinne des § 8 Abs. 1 EschG.

Ihre Einfuhr und Verwendung ist dann strafbar, wenn der Importeur einen ausländischen Forscher zur Stammzellgewinnung, d. h. zu einer Zerstörung menschlicher Embryonen anstiftet oder ihn dabei unterstützt.

Der deutsche Bundestag hat am 28.6.2002 nach einem interfraktionellen Kompromiss das Gesetz zur Sicherstellung des Embryonenschutzes im Zusam-

menhang mit Einfuhr und Verwendung menschlicher embryonaler Stammzellen (StZG) verabschiedet. Mit diesem Gesetz sollte eine nicht in rechtlichem und ethischem Wertungswiderspruch zum hohen Schutzniveau des EschG stehende gesetzliche Regelung getroffen werden, die sowohl der Forschungsfreiheit als auch den Interessen kranker Menschen an der Entwicklung neuer Therapien angemessen Rechnung trägt. Zentraler Gesichtspunkt dieses von ethischer Prinzipienwahrung geprägten Gesetzes ist die Stichtagsregelung des § 4 Abs. 2 Nr. 1 lit. A StZG: ES-Zellen dürfen nur importiert werden, wenn zur Überzeugung der Genehmigungsbehörde feststeht, dass die Zellen in Übereinstimmung mit der Rechtslage im Herkunftsland dort vor dem 1.1.2002 gewonnen wurden und im Anschluss daran in Kultur oder kryokonserviert gehalten werden. Durch die Stichtagsregelung soll jede von Deutschland ausgehende Gefährdung menschlicher Embryonen im Ausland verhindert werden. Angesichts der Tatsache, dass deutsche Forscher durch die aus der Stichtagsregelung resultierenden Beschränkungen zunehmend von internationalen Forschungskooperationen abgekoppelt werden, wird zunehmend Kritik an dieser Regelung laut, deren *heutige* Verfassungsmäßigkeit zu Diskussionen Anlass gibt, da sie der Dynamik der modernen Biomedizin in ethischer und rechtlicher Bewertung nicht gerecht wird. § 4 Abs. 2 StZG schließt den Import von ES-Zellen zu jedem anderen Zweck als Forschung, wie beispielsweise die rein kommerzielle oder auch therapeutische Nutzung aus. Da die Entwicklung neuer Therapiemöglichkeiten eines der Leitargumente in der Stammzellmedizin darstellt, wird diese Beschränkung als kurzfristig und widersprüchlich kritisiert.

Gemäß § 5 StZG dürfen Forschungsarbeiten an ES-Zellen nur durchgeführt werden, wenn wissenschaftlich begründet dargelegt ist, dass

1. sie hochrangigen Forschungszielen für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn im Rahmen der Grundlagenforschung oder für die Erweiterung medizinischer Kenntnisse bei der Entwicklung diagnostischer, präventiver oder therapeutischer Verfahren zur Anwendung bei Menschen dienen (§ 5 Nr. 1 StZG) und
2. nach dem anerkannten Stand von Wissenschaft und Technik
 - a) die im Forschungsvorhaben vorgesehenen Fragestellungen so weit wie möglich bereits in in vitro-Modellen mit tierischen Zellen oder in Tierversuchen vorgeklärt sind und
 - b) der mit dem Forschungsvorhaben angestrebte wissenschaftliche Erkenntnisgewinn sich voraussichtlich nur mit ES-Zellen erreichen lässt (§ 5 Nr. 2 StZG).

Das Kriterium der Hochrangigkeit betrifft die Ziele der geplanten Forschung, während § 5 Nr. 2 StZG auf die dazu eingesetzten Mittel gerichtet ist. Zusammengefasst beruht die Regelung des § 5 StZG auf den Gesichtspunkten

der Erforderlichkeit und Subsidiarität der Forschung mit ES-Zellen, was sich mit dem Begriff der Alternativlosigkeit der Forschung umschreiben lässt.

Neben der Genehmigungsbehörde muss auch die Zentrale Ethikkommission für Stammzellforschung (ZES) prüfen und bewerten, ob die Voraussetzungen nach § 5 erfüllt sind, das Forschungsvorhaben in diesem Sinne ethisch vertretbar ist. Die Behörde hat die Stellungnahme der Ethik-Kommission bei ihrer Entscheidung zu berücksichtigen (§ 6 Abs. 5 StZG), sie ist im Rahmen ihrer eigenen Beurteilung jedoch nicht an das Votum der ZES gebunden. Die ZES hat lediglich beratende Funktion, ihrem Votum kommt aber eine große Rolle bei öffentlichen Meinungsbildungsprozessen zu.

Nach Meinung von Lerch eilt das StZG gesellschaftlicher Realität voraus. Das Dilemma zwischen hohem Erwartungsdruck bezüglich möglicher Anwendungen biomedizinischer Forschung einerseits und der Formulierung ethisch begründeter Forschungslimits gälte es mit Hilfe rechtlicher Regelungen nachteils- und diskriminierungsfrei zu lösen. Dabei sei auch für die Regelung der Forschungsfreiheit auf EU-Ebene das Prinzip des größten gemeinsamen Nenners faktisch definiert durch den restriktivsten Ansatz. Das Prinzip des *opting out* (nach EU-Konventionalrat eine Ausnahmeregelung, die einem Land zugestanden wird, das sich in einem bestimmten Bereich der gemeinschaftlichen Zusammenarbeit nicht den übrigen Staaten anschließen will ohne eine allgemeine Blockierung auszulösen) regelt bisher die EU-Harmonisierung betreffs Qualitätssicherheit von medizinischen Produkten und Arzneimittelrecht. Dass die Bundesregierung am 24.7.2006 darauf verzichtete, das 7. EU-Forschungsrahmenprogramm zur Finanzierung von Projekten der hES-Forschung in Europa zu blockieren, die mit dem restriktiven deutschen StZG nicht vereinbar sind, stellt rechtspolitisch einen Einschnitt dar. Die aus den von Behörde und ZES beratenen Anträgen erkennbare starke Kopplung der deutschen Forschung an EU-Verbundprojekte, an denen Wissenschaftler aus Ländern mit sehr unterschiedlichen ethisch-rechtlichen Bedingungen für hES-Zellforschung beteiligt sind, führt gegenwärtig zu einer erheblichen Rechtsunsicherheit für deutsche Forscher.

Nutzung von Ergebnissen der embryonalen Stammzellforschung in ethischer Sicht

Hintergrund der Überlegungen zu einem Dissensmanagement in der Technikbewertung durch Hubig (2001) ist der Gedanke, dass die Suche und noch stärker die faktische Etablierung eines Konsenses Vereinseitigung eines komplizierten Gewebes von Überzeugungen (auch hinsichtlich der Vorstellung dessen, was ein gutes Leben auszeichnet) bedeutet. Eine allein auf den Konsens fixierte Suche nach der Lösung von Dissenssituationen leugnet den grundlegenden

Charakter möglicher Dissense, die nicht durch Begriffsunklarheiten, methodische Fehler oder unterschiedliche Informiertheit der Betroffenen und ähnlichem entstehen, sondern sich durch eine gewisse Unhintergebarkeit der zugrunde liegenden Positionen und Überzeugungen auszeichnen. Die Fähigkeit, auch ethische Dissense bestehen zu lassen kennzeichnet die kulturelle Errungenschaft, Pluralismus als Wert anzuerkennen, und eröffnet ein Mehr an Handlungs- und Selbstverortungsoptionen. Vor dem Hintergrund der Diskurskultur im Kontext des gesellschaftlichen Pluralismus zeichnete sich die Bioethikdebatte der letzten Jahre durch ungewöhnliche Heftigkeit und teilweise erbitterte Austragung aus. Die Gründe sieht Prof. Dr. Hartmut Kress (Evangelische Fakultät, Abteilung Sozialethik der Universität Bonn) in der kulturellen Neuartigkeit der durch den Fortschritt der modernen Biomedizin bedingten Themen, deren normative Bewertung uneingeübt sei. Die Position, für die zahlreiche Vertreter von Politik, Kirche oder auch der Bundesärztekammer stünden, laufe konsequent auf Verbotsforderungen hinaus, die vorschnell postuliert wurden und weder ethisch noch im Kontext anderer Positionen und Rechtssysteme aufrecht zu erhalten seien. Das im Juli 2002 in Kraft getretene StZG bemühe sich um rechtsstaatliche Kontrolle und Transparenz embryonaler Stammzellforschung, zeige aber Schwächen und Unschärfen. Die inzwischen breit erörterte Stichtagsregelung beruhe auf einer Willkür- oder Zufallsbegründung. Der Stichtag hatte den Sinn zu verhindern, über die durch IVF entstandenen Embryonen hinaus menschliches Leben für Forschungszwecke zu vernutzen oder gar Embryonen für Forschungszwecke zu erzeugen. Dieses Ziel könne auch durch eine weniger starre, flexibel nachlaufende Stichtagsregelung erreicht werden, die deutschen Forschern eine Partizipation an qualitativ hochwertigen hES-Zelllinien ermögliche, die für eine auf therapeutische Anwendung gerichtete Forschung erforderlich sind. Zudem stehe diese Regelung im Ruch einer gewissen Doppelmoral, die die Herstellung von hES-Zelllinien als das moralisch eventuell verwerfliche Tun der nichtstaatlichen Finanzierung durch Dritte überlässt.

Das StZG duldet zwar Grundlagenforschung an hES-Zellen, lässt Nutzung und Verwertung möglicher Forschungsergebnisse im Inland jedoch nicht zu. Diese Vorgabe sei inkonsistent und greife zu kurz. Sie bedeute, dass deutsche Forschungsergebnisse nur im Ausland genutzt werden dürften. Inländisch drohten deutsche hES-Projekte daher ins Leere zu laufen. Abgesehen von hypothetischen klinischen Anwendungen zeichnet sich eine pharmakologische und toxikologische Nutzung von hES-Zellen in Form von Testsystemen für die Bereiche Reproduktionstoxikologie und Medikamentenprüfung ab. Deren Sinn und Berechtigung sei ethisch unabweisbar. Gesetzliche Regelungen, die abhängig sind von wissenschaftlichem Erkenntnisstand, sollten revisionsoffen bleiben. Diesen Revisionsbedarf sieht Kress auch für das EschG.

Die Gesichtspunkte, die bislang für die deutsche Ablehnung von hES-Forschungsprojekten tragend waren, sehen letztlich eine Verletzung der Menschen-

würde aufgrund der sogenannten SKIP-Argumente. Diese besagen, dass bereits der frühe Embryo von der Verschmelzung der Ei- und Samenzelle an den Rang eines Menschen besitze, und zwar wegen seiner Zugehörigkeit zur Spezies Mensch (S), seines kontinuierlichen Werdens (K), seiner genetischen Identität (I) und der ihm innewohnenden Potentialität, sich zu vollem Menschsein zu entwickeln (P). Aus dieser „Personeigenschaft“ folge, dass „Nutzung oder gar Erzeugung von Embryonen zu Zwecken wissenschaftlicher Forschung, der Diagnose oder der Heilung dritter Personen gegen die Selbstzweckhaftigkeit menschlicher Wesen und gegen die Menschenwürde verstoße“, so der Göttinger Rechtswissenschaftler Starck. Im Fall der hES-Forschung kollidieren nun unterschiedliche Grundrechte, die unter der Vorgabe der Menschenwürdegarantie in einen Ausgleich zu bringen sind und aus denen eine Herausforderung der Güterabwägung resultiert. Zu den Freiheitsgrundrechten gehören die Selbstbestimmungsrechte von Patienten, die Berufsfreiheit von Ärzten, die Forschungsfreiheit, aber auch das Grundrecht auf Gesundheitsschutz. Dem Staat sei verwehrt, so Kress, medizinische Forschung oder ärztliches Handeln vorschnell zu untersagen, sofern sie heutigen oder künftigen Patienten von Nutzen sein können. Das Grundrecht auf Gesundheitsschutz spielt im verfassungsrechtlichen Schrifttum eine prominente Rolle. Die ethische und philosophische Debatte lässt zunehmend zweifelhaft erscheinen, ob der pränidative Embryo (*human life*) als Mensch (*human being*) betrachtet und behandelt werden muss, oder dessen Lebensschutz im Rahmen einer Güterabwägung hinter den schwerer wiegenden Gesundheitsschutz zurücktreten kann. Die Ethik des Heilens und Helfens sei in allen Kulturen tief verankert. Die einseitige Fokussierung auf den Embryonenschutz bedeute eine Engführung der Bioethik-Debatte, die sich auch für die Diskussion über Patientenwohl- und -sicherheit sowie Kriterien möglicher klinischer Anwendung öffnen sollte. Kress endet mit dem Appell, die rechtspolitische Sorge möge die Tür zur Nutzung der Ergebnisse aus der hES-Forschung nicht verschlossen lassen.

In der Debatte um die Forschung an menschlichen embryonalen Stammzellen ist das offenbar stärkste Argument für eine Weiterentwicklung dieser Technologie, mit ihrer Hilfe möglicherweise Therapien für schwere und verbreitete degenerative Krankheiten entwickeln zu können. Es ist damit das stärkste indirekte Argument gegen die Schutzwürdigkeit des Embryos. Besonders in der öffentlichen Debatte, aber auch in Argumentation und Selbstverständnis vieler beteiligter Forscher, wird häufig eine indirekte Verbindungslinie zwischen biomedizinischer Forschung und dem Heilungsgedanken oder –auftrag gezogen. Bei näherem Hinsehen erscheint das Argument „Krankheiten heilen“ differenzierungsbedürftig. Jenseits der Wahrnehmung des Körpers als eines objektivierbaren „Äußeren“ muss sich insbesondere der Kranke handelnd damit auseinandersetzen, dass wir mit dem Körper – als Leib – identisch sind. Die komplizierte Beziehung, in welcher der Mensch zu seinem Körper steht, ist vor allen Dingen in Phänomenologie und philosophischer Anthropologie umfassend erörtert wor-

den. Helmuth Plessner hat hierfür den Begriff der Exzentrizität geprägt. Der lebendige Mensch ist dreifach charakterisiert: Er ist Körper (und damit Tier), er ist im Körper (als Innenleben oder Seele) und er ist außerhalb des Körpers indem er zu diesem (und zu seinem Innenleben) Stellung bezieht. In dieser Beschreibung ist für Plessner die Person charakterisiert. Eine Medizin, die über die unvermittelte Umsetzung ihrer naturwissenschaftlichen theoretischen Basis nicht hinaus geht, kann in den Augen vieler die Behandlung des *Menschen* nicht leisten. Das bedeutet für die Evaluation einer Behandlungsstrategie, die an der Beseitigung oder Substitution spezieller biologischer Prozesse ansetzt, dass ihr Potential zur Leidensverminderung ohne konzeptionelle Vermittlung in ein umfassenderes medizinisches Denkmodell nicht bestimmbar ist.

Die Beiträge für das Stammzellsymposium 2007 zeigen abweichend von der vorangegangenen Veranstaltung 2004 ein durchgängig positives Moratorium für eine reflektierte Liberalisierung und Novellierung der rechtlichen Rahmenbedingungen sowohl für Grundlagenforschung als auch anwendungsorientierte Projekte der Stammzellmedizin. Mut und Engagement aller Teilnehmenden sowie das wissenschaftliche Niveau der Vorträge waren eindrucksvoll und verwiesen doch auf die grundlegende Problematik dieser so dringend notwendigen Veranstaltungen an der kommunikativen Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Gesellschaft: Hochrangige Forscher können ihren Erkenntnishorizont nicht der öffentlichen Debatte im Sinne eines Dissensmanagements öffnen ohne Anpassung ihres den repräsentativen Gepflogenheiten der *scientific community* angepaßten Vortragsstiles an ein weitgehend fachfremdes Publikum. Wissenschaft muss Rechenschaft geben können und lernen, in den komplexen Strukturen einer pluralen Gesellschaft ihre Ziele und Methoden auch kleinschrittig zu kommunizieren und sich darüber zu verständigen. Und dieses Publikum darf und soll wagen, seine real existierende fachliche Nichtkompetenz im Dschungel wissenschaftsinterner Terminologie lächelnd zu übergehen, wenn es um grundsätzliche Fragen menschlicher Verfasstheit und künftiger Lebenshorizonte geht. Den weltweit akzeptierten Diskursrahmen eines Expertengremiums aus Wissenschaft, Philosophie und Recht gilt es um breitere Positionen zu erweitern, beispielsweise in der Frage nach der Zielorientierung der Stammzellforschung. Im Westen verbreiteten und sozialpolitisch problematischen Zivilisationskrankheiten gilt das Hauptaugenmerk. Probleme der Zugänglichkeit solcher möglichen Therapien für Menschen in ärmeren Teilen der Welt, wie auch solche nach der Moral der generellen forschungsmedizinischen Orientierung blieben bislang weitgehend ohne Einfluss auf eine grundsätzliche Umorientierung der Debatte. All diese Überlegungen haben mit dem Verhältnis und der Bestimmung von Menschenwürde und Forschungsfreiheit zu tun. Sie sind aufgrund ihrer Verflechtung mit ökonomischen und machtpolitischen Fragen anders, aber nicht weniger konflikträchtig als die Frage nach dem moralischen Status früher Embryonen.

Interdisziplinäres Symposium vom 10. – 12. August 2007

Kaiser Lothar III. und der Kaiserdom in Königsutter

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft (BWG)
Braunschweigisches Landesmuseum (BLM)
Technische Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig
(TU BS)

Gefördert von: Stiftung Braunschweigischer Kulturbesitz (SBK)

Ort: Braunschweigisches Landesmuseum

Von der Totenhütte zur romanischen Monumentalarchitektur.

Der bereits in der Völkerwanderungszeit des 6. Jahrhunderts nach Chr. archäologisch nachweisbaren Siedlung mit der ältesten Keramik führenden Schicht in der Stratigraphie des Kaiserdoms zu Königsutter folgt vor Ort erst im früheren 12. Jahrhundert die von Kaiser Lothar III. und seiner Ehefrau Richenza 1135 gegründete Benediktiner Abteikirche Peter und Paul. Nach der Bestimmung des Kaiserpaares sollte die Abteikirche zugleich ihre Grabstätte werden.

Der Kaiserdom in Königsutter zählt zu den herausragenden Bau- und Geschichtsdenkmälern des Braunschweiger Landes. Er ist ein monumentales Symbol der deutschen Geschichte des 12. Jahrhunderts. Nicht seine Architektur oder der legendäre Jagdfries standen im Mittelpunkt dieses Symposiums zum Jahr der Geisteswissenschaften, sondern die historische Bedeutung des Stifterehepaares sowie die Grablege des Kaisers, seiner Familie und der drei ältesten Äbte im 12. Jahrhundert. Damit verbunden war erstmals auch eine Gesamtübersicht der langjährigen und vielfältigen Forschungen unterschiedlicher Fachdisziplinen sowie deren Ergebnisse, die einen wichtigen Beitrag zu dieser Epoche des Hochmittelalters liefern.

Die historische Bedeutung Lothars III., die zahlreichen Grabbeigaben aus Gold, Silber, Bronze und Eisen sowie die anthropologischen Forschungsergebnisse an allen Bestattungen der Kaisergrablege standen im Mittelpunkt der Vorträge des Symposiums, das zugleich ein wichtiger historischer Forschungsbeitrag im Rahmen „Stadt der Wissenschaft 2007“ war.

10. August 2007, 14.30 Uhr

Begrüßung: Prof. Dr.h.c. Gerd Biegel, Ltd. Museumsdirektor BLM

Grußwort: Prof. Dr. Dr.h.c. Joachim Behr, BWG

1. Sektion / Moderation: Prof. Dr.h.c. Biegel

Privatdozent Dr. Caspar Ehlers, Max-Planck-Institut für Europäische Rechtsgeschichte, Frankfurt/Main

Die historische Bedeutung von Königslutter für die Süpplingenburger und das Reich

Prof. Dr. Wolfgang Petke, Diplomatischer Apparat der Georg-August-Universität, Göttingen

Lothar von Süpplingenburg als Friedensfürst

Prof. Hartmut Rötting, M. A., Projekt: Archäologische Keramik- und Bau-
forschung, BLM

*Archäologische Befunde und Funde zu den Siedlungsvorgängen seit der
Völkerwanderungszeit, der Kaisergrablege und zu den ältesten Bestattungen
der drei Äbte*

11. August 2007, 9.00 Uhr**2. Sektion / Moderation Prof. Dr. Dr.h.c. Hans-Joachim Behr**

Prof. Dr. Gisela Gruppe, Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät
für Biologie

*Die Ergebnisse der molekulargenetischen und histologischen Untersuchun-
gen der Skelettfunde aus der Stiftskirche*

Dr. Angelika Burkhardt, Braunschweig

*Eine allgemeine anthropologische Betrachtung der vier Skelette aus der kai-
serlichen Grabanlage Lothars III.*

Dipl.-Biol. Katrin Koel, Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsgruppe
Paläopathologie

*Die Holzsargbestattungen 23, 24, 26 und 27 der flankierenden Gräber in der
kaiserlichen Grablege*

3. Sektion / Moderation Dr. Angela Klein

Prof. Dr. Eberhard May, TU Braunschweig, Zoologisches Institut

Zur morphologischen Ähnlichkeitsdiagnose der vier Sarkophagbestattungen

Prof. Dr. Pieter M. Grootes, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Leibniz-Labor
*Zu den braunschweigischen ¹⁴C-Datierungen im archäologischen Schicht-
 gefüge*

Tobias Henkel, Direktor der Stiftung Braunschweigischer Kulturbesitz, und
 Restauratoren

*Exkursion nach Königslutter: Ein Kulturdenkmal auf dem Prüfstand – Über
 den Fortschritt der Restaurierungsarbeiten am Kaiserdom*

12. August 2007, 9.00 Uhr

4. Sektion / Moderation Prof. Hartmut Rötting, M.A.

Dr. Gudrun Pischke, Bovenden

*Lothar III: Von Breitenwang/Tirol nach Königslutter – Tradition und Neue-
 rung zwischen Tod und Beisetzung*

Anneliese Streiter, Nürnberg

*Zu den Textilresten aus den Sarkophagen Kaiser Lothars III. und der Kaiserin
 Richenza*

Prof. Dr. Frank Hellwig und Dr. Maren Hellwig, Jena

*Die Bestimmung der Pflanzenteile aus dem Sarkophag der Kaiserin Richenza
 und der Fruchtsteine aus dem Sarkophag Herzog Heinrichs des Stolzen (Stifts-
 kirche Königslutter)*

Prof. Dr. h.c. Gerd Biegel, BLM

*Königslutter und Braunschweig – ein Zentrum des Mittelalters? –
 Schlussbemerkungen zum Symposium*

Festakt am 08. September 2007 zum 65. Geburtstag von

PROF. DR. DR. CLAUS-ARTUR SCHEIER

Progammm

Grußworte

Prof. Dr. Barbara Jürgens
Vizepräsidentin der TU Braunschweig

Prof. Dr. Dr.h.c. Joachim Klein
Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Prof. Dr. Ute Daniel
Dekanin der Fakultät für Geistes- und Erziehungswissenschaften
der TU Braunschweig

Prof. Dr. Dr. Gerhard Vollmer
Geschäftsführender Leiter des Seminars für Philosophie der TU Braunschweig

Vorträge

Prof. Dr. Wilhelm G. Jacobs, München
Zum metaphysischen und kritischen Denken im Deutschen Idealismus

Festschrift überreicht durch

Prof. Dr. Dirk Westerkamp, Univ. Kiel und Dr. Astrid von der Lühe, Univ. Kiel
Metaphysik und Moderne. Ortsbestimmungen philosophischer Gegenwart, Würzburg 2007.

Akademie-Vorlesung im Schloss
30. / 31. Oktober 2007 und 06. / 07. November 2007

Licht und Energie

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
Kulturinstitut der Stadt Braunschweig
Akademie der Wissenschaften zu Göttingen
Ort: Roter Saal, Schloss Braunschweig, Schlossplatz 1
Zeit: Beginn jeweils um 18.30 Uhr

Ausgehend von der grundlegenden Reflexion der Wechselbeziehung von »Licht und Energie« aus der Sicht der Theologie und der Historie erläuterten und vertieften Vertreter verschiedener Wissenschaftsdisziplinen der Natur- und Ingenieurwissenschaften die Bedeutung dieses Begriffspaares.

So wie Energie zur Erzeugung von Licht unverzichtbar ist, dient Licht als Quelle von Energie, und neue Erkenntnisse und Technologien weisen auch neue Wege zur Nutzung von Licht und Energie eine nachhaltige Gestaltung für unsere Zukunft.

Im Anschluss an die Vorträge bestand im Foyer des Roten Saals die Gelegenheit zum Gespräch und zur Diskussion mit den Referenten.

Programm

30. Oktober 2007

Prof. Dr. Joachim Ringleben, Georg-August-Universität Göttingen
»In deinem Lichte sehen wir das Licht« – Theologisch-Philosophische Überlegungen zum Licht vom Gottesgedanken her.

Prof. Dr. Ute Daniel, Technische Universität Braunschweig
Licht und Energie im Kontext einer Weltgeschichte der Moderne.

31. Oktober 2007

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kowalsky, Technische Universität Braunschweig
Leuchtdioden für Displays und Beleuchtung.

Prof. Dr. Fritz **Riehle**, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig
Neuartige Lichtquellen als Herausforderungen in Photometrie und Radiometrie.

06. November 2007

Prof. Dr. Stefan Hell, MPI für biophysikalische Chemie Göttingen
Fluoreszenzmikroskopie in unbekannter Schärfe. Grenzen der klassischen Optik überwunden.

07. November 2007

Prof. Dr. Andreas Hangleiter, Technische Universität Braunschweig
Halbleiter-Laser: Ein ganz besonderes Licht.

Prof. Dr. Andreas Waag, Technische Universität Braunschweig
 Photovoltaik: Vom Licht zur elektrischen Energie.

Abstracts:

**„In deinem Lichte sehen wir das Licht“
 Theologisch-Philosophische Überlegungen zum
 Licht vom Gottesgedanken her.***

Prof. Dr. Joachim Ringleben, Lehrstuhl für Systematische Theologie, FB Theologie, Georg-August-Universität Göttingen.

Im Ausgang von biblischen Aussagen über das Verhältnis von Gott und Licht (wie z. B. Gen 1,3; Ps 36, 10 und 1 Joh 1, 5) und im Anschluss an die jahrhundertalte Tradition einer christlichen Lichtmetaphysik (Mittelalter) versucht der Vortrag, die religiöse Bedeutung des Lichtes aufzuklären. Dabei ist die entscheidende Sachfrage, ob es gelingt, vom Wesensbegriff des Lichtes selber her verständlich zu machen, inwiefern „Licht“ die Funktion einer zentralen Metapher für Gottes Sein und Handeln, für das Wort Gottes und die Gotteserkenntnis übernehmen kann. Im Zusammenhang des lebendigen göttlichen Seins ist auch die neutestamentliche Rede von Gottes „Energie“ zu bedenken.

Licht und Energie im Kontext einer Weltgeschichte der Moderne

Prof. Dr. Ute Daniel, Technische Universität Braunschweig

Schon lange figurieren unter dem, was für weltgeschichtlich bedeutsam gehalten wird, nicht mehr nur die „großen Männer“, die, wie es hieß, die Geschichte

* Ausführliche Fassung in den Abhandlungen Band 59 [2007]

machen. In der Wirtschafts- oder der Umweltgeschichte sind mittlerweile Fragen der Energieversorgung oder die Veränderungen, die die neuen Lichtquellen – Gas und Elektrizität vor allem – im Alltagsleben der Menschen bewirkt haben, Standardthemen der Forschung. Seltener sind jedoch Versuche, diese Fragen in die allgemeine Geschichte von Gesellschaften zu integrieren. Der Vortrag wird an einigen exemplarischen Beispielen anzudeuten versuchen, wie eine Weltgeschichte der Moderne aussehen könnte, die die Geschichte der Energieträger in die allgemeine Politik-, Sozial- und Kulturgeschichte integriert.

Leuchtdioden für Displays und Beleuchtung

Wolfgang Kowalsky, Institut für Hochfrequenztechnik, Technische Universität Braunschweig

Als Leuchtmittel in Wohnräumen dominiert bis heute die von Heinrich Göbel (1818 - 1893) erfundene Glühbirne. Sie setzt allerdings nur einen sehr geringen Teil der ihr zugeführten elektrischen Energie in Licht um, während die Infrarot- bzw. Wärmestrahlung dominieren. So erreicht eine Glühbirne nur eine Leistungseffizienz von etwa 20 Lumen/Watt, während bei vollständiger Konversion der elektrischen Leistung in Licht eine Effizienz von 220 Lumen/Watt erzielt würde. Der Versuch, dieser Energieverschwendung durch Energiesparlampen zu begegnen, ist nur teilweise gelungen, da sie für häufige Schaltvorgänge nur bedingt geeignet sind und überdies der Weißeindruck häufig nicht befriedigt. Leuchtdioden (light emitting diodes, LEDs) aus anorganischen Verbindungshalbleitern ermöglichen nahezu „kalte“ Festkörperlichtquellen. Sie übertreffen bereits 100 Lumen/Watt. Da diese LEDs in einem sehr kleinen Volumen hohe Lichtintensitäten erzeugen, sind sie nicht nur für einfache Beleuchtungen sondern auch für abbildende Systeme wie PkW-Scheinwerfer geeignet. Die jüngste Entwicklung stellen organische Leuchtdioden dar. Da sie im Gegensatz zu den konventionellen LEDs nicht aus Halbleiterkristallen sondern aus amorphen Schichten gefertigt werden, ermöglichen sie großflächige und sehr dünne Lichtquellen. Durch Aufteilung dieser Flächen in einzelne Bildpunkte, die individuell angesteuert werden können, gelingt die Realisierung flacher selbstleuchtender Displays.

Neuartige Lichtquellen, neue Herausforderungen in Photometrie und Radiometrie

Fritz Riehle, Abteilung Optik, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig

Neuartige Lichtquellen wie Leuchtdioden, Leuchtdiodenarrays, Lichttapeten, quecksilberfreie Lampen, Displays oder spezielle Laser für die ressourcen-scho-

nende Erzeugung von Licht, zur Informationsvermittlung und Unterhaltung, zur Steuerung, Lenkung und Sicherung des Verkehrs verdrängen gegenwärtig in immer stärkerem Maß klassische Lichtquellen. Daneben werden neuartige Strahlungsquellen wie Synchrotronstrahlungsquellen, Hochleistungslaser, lasererzeugte Plasmaquellen im Wellenlängenbereich vom infraroten bis in den Röntgenbereich entwickelt als Werkzeuge mit besonderen Möglichkeiten für die Mikro- und Makrotechnik.

Damit entstehen neue Herausforderungen bei der quantitativen Bewertung von Licht unter besonderer Berücksichtigung der Empfindlichkeit des menschlichen Auges, da z. B. das von den neuen Lichtquellen ausgestrahlte Licht ungewöhnliche spektrale und räumliche Eigenschaften besitzt, für die eine neuartige Messtechnik benötigt wird. Ebenso werden neue Technologien und Verfahren benötigt um den Anforderungen der Nutzer in Wissenschaft, Industrie und Gesellschaft zur genauen Charakterisierung dieser Strahlung nachkommen zu können.

Der Vortrag beschreibt an ausgewählten Beispielen die neuen technologischen Prinzipien, Verfahren und den damit erreichten Stand der Metrologie von Licht und Strahlung.

Fluoreszenzmikroskopie in ungekannter Schärfe – Grenzen der klassischen Optik überwunden

Prof. Dr. S. Hell, Göttingen – Beitrag der Biowissenschaften (Biophysik)

Im Jahre 1873 entdeckte Ernst Abbe, dass die Auflösung von Lichtmikroskopen auf 200nm begrenzt ist. Wir haben einen Weg gefunden, die 130 Jahre alte Abbesche Grenze im Fluoreszenzmikroskop zu überwinden. Das Neue an unserem Verfahren ist, dass die Schärfe nicht mehr durch die Lichtwellenlänge begrenzt ist. So erzielten meine Mitarbeiter und ich bereits Auflösungen von 20 Nanometern, also 10fach über Abbes Grenze. Da Proteinkomplexe im Bereich 0,01 bis 0,2 Mikrometer liegen, hat dieses Mikroskop das Potenzial, in die molekulare Skala des Lebens bildgebend vorzudringen. Erste wichtige Erkenntnisse wurden bereits gemacht: So konnte die STED-Mikroskopie einzelne Bläschen mit Nervenbotenstoffen (synaptische Vesikel) auflösen und damit eine wichtige Frage der Neurobiologie klären. Eine weitere wichtige Erkenntnis unserer Arbeit ist, dass die Auflösung in einem STED-Mikroskop prinzipiell bis auf die Größe eines Moleküls gesteigert werden kann.

Halbleiter-Laser: Ein ganz besonderes Licht

Andreas Hangleiter, Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Braunschweig

Seit der Erfindung des Lasers im Jahr 1960 sind erst knapp 50 Jahre vergangen, dennoch sind Laser schon heute aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Fast jeder benutzt einen CD- oder DVD-Player, auch bei der Nutzung eines schnellen DSL-Internet-Anschlusses denkt kaum noch jemand darüber nach, dass dahinter ein Glasfaser-Netz mit Laserdioden steckt. Das besondere und faszinierende am Laser ist das Licht, das er ausstrahlt: Im Gegensatz zu anderen Lichtquellen wie Glühlampen oder Leuchtdioden ist es Licht mit praktisch nur einer Wellenlänge, die Lichtwellen eines Lasers sind über Dimensionen von Kilometern ungestört. Gleichzeitig erlaubt die hohe Frequenz des Lichts die Übertragung von Informationen mit extrem hoher Geschwindigkeit. Halbleiter-Laser sind die kompaktesten Laser, die wir kennen. Aus einem winzigen Bauelement von manchmal nur Dimensionen von wenigen Mikrometern kommt Licht von hoher Perfektion aber auch hoher Leistung. Mit Lasern auf der Basis von Verbindungs-Halbleitern können heute Wellenlängen vom mittleren Infrarot bis in den nahen Ultraviolett-Bereich erzeugt werden. Mittels organischer Halbleiter ist es möglich, Laser mit extrem weit abstimmbarer Wellenlänge zu realisieren. Strukturen im Nanometer-Bereich helfen, die Leistungsfähigkeit der Laser drastisch zu erhöhen. An die zugrunde liegenden Materialien stellt das sehr hohe Anforderungen. Hochgradig perfekte kristalline Schichten mit geringsten Konzentrationen an Verunreinigungen müssen auf einer atomaren Skala beherrscht werden.

Photovoltaik – Vom Licht zur elektrischen Energie

Andreas Waag, Institut für Halbleitertechnik, Technische Universität Braunschweig

Elektrische Energie steht uns bisher ebenso selbstverständlich zur Verfügung wie Trinkwasser oder saubere Luft. Für die Erzeugung elektrischer Energie spielen fossile Energieträger immer noch eine wesentliche Rolle. Die damit einhergehenden Klimaprobleme treten mittlerweile deutlich hervor. Angesichts der Industrialisierung der Schwellenländer und der immer schneller zu Ende gehenden fossilen Ressourcen ist die intensive Nutzung erneuerbarer Energiequellen wie Wasser, Wind und Sonnenlicht dringend geboten. Nicht nur die mit der Energiegewinnung einhergehende Umweltbelastung, sondern auch die damit verbundenen Produktionskosten werden einen großen Einfluss auf die weitere technische Entwicklung auf unserem Planeten haben. Neben der Arbeitsweise von Solarzellen wird die Bedeutung und der Stand der Technik der Photovoltaik dargestellt. Zukünftige Entwicklungen sollen die Effizienz steigern und die Produktionskosten senken. Hier spielen neue Materialien wie so oft eine zentrale Rolle.

Die Vortragenden:

Prof. Dr. Ute Daniel, Technische Universität Braunschweig (u.daniel@tu-braunschweig.de), Prof. Dr. Andreas Hangleiter, Technische Universität Braunschweig (a.hangleiter@tu-braunschweig.de), Prof. Dr. Stefan Hell, MPI für biophysikalische Chemie Göttingen (shell@gwdg.de), Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kowalsky, Technische Universität Braunschweig (w.kowalsky@tu-braunschweig.de), Prof. Dr. Fritz Riehle, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig (fritz.riehle@ptb.de), Prof. Dr. Joachim Ringleben, Georg-August-Universität Göttingen (regine.pfau@theologie.uni-goettingen.de), Prof. Dr. Andreas Waag, Technische Universität Braunschweig (a.waag@tu-braunschweig.de), Leitung der Vortragsreihe: Prof. Dr. h.c. Joachim Klein, Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft (poststelle@bwg.niedersachsen.de), Prof. Dr. Jens Frahm, Akademie der Wissenschaften zu Göttingen (jfracm@gwdg.de).

Veranstalter:

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft (www.bwg-niedersachsen.de),
Göttinger Akademie der Wissenschaften (www.adw-goettingen.gwdg.de),
Stadt Braunschweig/Kulturinstitut (www.braunschweig.de/roter-saal).

Verleihung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen am 06.12.2007

Veranstalter: Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen
Braunschweigisches Landesmuseum
Technische Universität Braunschweig
Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Ort: Braunschweigisches Landesmuseum

Programm

Prof. Dr. h.c. Gerd Biegel, M.A., Ltd. Museumsdirektor des Braunschweigischen Landesmuseums

Begrüßung

Thomas Heinisch, Vorstandsvorsitzender der Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis
Prof. Dr. Jürgen Hesselbach, Präsident der TU Braunschweig

Preisverleihung und Vorstellung der Preisträger:

Prof. Dr. Dr.h.c. Joachim Klein, Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Gratulation

Prof. Dr. Gyburg Radke, Institut für Griechische und Lateinische Philologie
Freie Universität Berlin

Festvortrag: Platons Akademie – eine Vision für die Gegenwart?

PLENARVERSAMMLUNGEN

Arabisches Wissen und lateinischer Westen. Bildlicher Disput mit Averroes.*

JOHANNES ZAHLTEN

Olfermannstraße 11, D-38102 Braunschweig

Eine ungewöhnliche bildliche Darstellung auf der prächtig geschmückten Initialseite einer Lütticher Bibelhandschrift des 15. Jahrhunderts gab den Anstoß zur vorgetragenen Untersuchung. Der untere Rand der illuminierten Bildseite zum Genesisbeginn mit einem großen I-Initial, das mit Medaillons der sieben Schöpfungstage geschmückt ist, zeigt zwei monumental wirkende männliche Figurenpaare (Abb. 1). Zwei heilige Bischöfe diskutieren je mit einem gelehrten Laien. Aus einer Analyse der lateinischen Texte zwischen ihnen, die widersprüchliche Kommentare zum biblischen Schöpfungsbericht enthalten, lassen sie sich identifizieren. Es handelt sich um den Kirchenvater Augustinus von Hippo im Disput mit Aristoteles und Albertus Magnus, der mit dem arabischen Arzt und Philosophen Averroes (Ibn Ruschd) diskutiert. Durch die Anordnung der Schrift wird bereits die Überlegenheit der beiden christlichen Geistlichen in der Diskussion deutlich.

Das Außergewöhnliche der Darstellung liegt ikonographisch darin, dass die Disputanten als gleichberechtigte Gegner geschildert werden. Weit verbreitet dagegen sind Gemälde, in denen die Auseinandersetzung des Dominikanergelehrten Thomas von Aquin mit dem „Kommentator“, wie Averroes genannt wurde, zum Bildinhalt wurde. Bei einigen Beispielen finden wir den arabischen Philosophen zusammen mit anderen Häretikern als lauschenden Zuhörer zu Füßen des akademischen Lehrers Thomas sitzend. So etwa auf dem Fresko Andrea die Bonaiutos in der sog. Spanischen Kapelle neben S. Maria Novella in Florenz (1366/68) oder auf dem Tafelbild der Fra Angelico-Werkstatt (M. 15. Jh.) im dortigen Kloster San Marco (Abb. 2).

Zumeist jedoch erscheint Thomas von Aquin auf Grund seiner durch göttliche Inspiration erworbenen argumentativen Fähigkeiten als Sieger über die Lehre des Averroes, dessen Sturz oft dramatisch inszeniert wurde. Über seine auf dem Boden liegenden Schriften triumphiert die „Summa contra gentiles“ des hl. Thomas.

* Kurzfassung des am 20.01.2007 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.



Abb. 1: Bibel aus Lüttich (1420/40). London, Brit. Library, Add. 15254, fol. 13 (Detail).

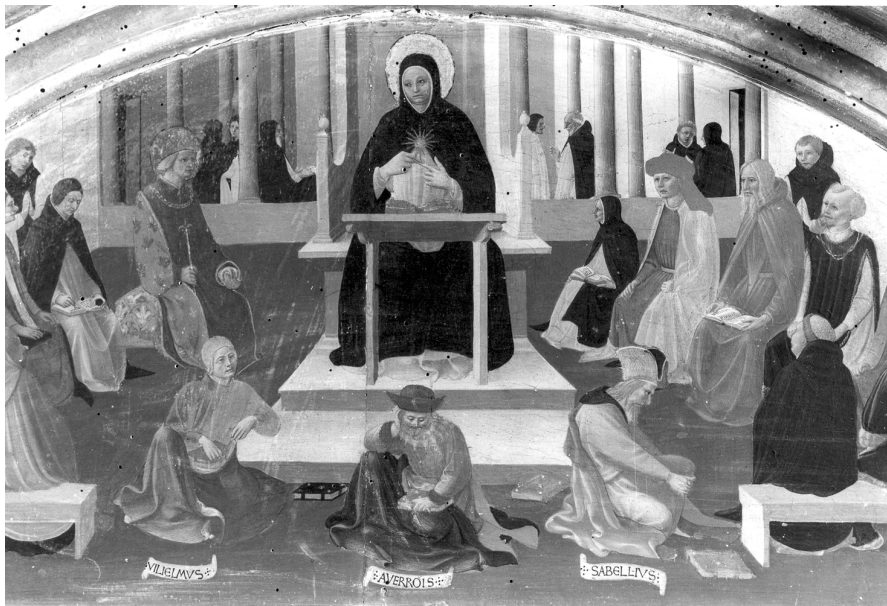


Abb. 2: Fra Angelico-Werkstatt, Tafelbild (M. 15. Jh.).



Abb. 3: Anonymer Meister, Tafelbild (um 1323). Pisa, S. Caterina. Triumph des Thomas von Aquin.



Abb. 4: Filippino Lippi, Fresko in der Carafa-Kapelle (1488/90). Triumph des hl. Thomas über die Häretiker. Rom, S. Maria sopra Minerva.

Das früheste erhaltene Beispiel dieses Bildtypus stellt die große Altartafel in S. Caterina zu Pisa dar (Abb. 3), die 1323 datiert wird. Sein aufgeschlagenes Werk im Zentrum der Komposition ist durch goldene Strahlen mit Platos „Timaeus“ (rechts) und der „Ethik“ des Aristoteles (links) verbunden, aber auch mit den Schriften der Evangelisten, des hl. Paulus und Moses über ihm sowie mit Christus in der Mandorla zuoberst. Ihre Texte bildeten die Grundlage für Thomas Hauptwerk, mit dem er die Irrtümer des zu seinen Füßen liegenden Averroes widerlegt.

Das Gemälde aus Pisa bot die Voraussetzung für ähnliche Darstellungen, von denen nur Benozzo Gozzolis Tafel im Louvre (um 1470) und das Wandbild Filippino Lippis in der Carafa-Kapelle in S. Maria sopra Minerva in Rom (1488/90) genannt seien (Abb. 4). Die Thematik dieser beiden Beispiele besitzt zeitlich gesehen eine große Aktualität, da gegen Ende des 15. und zu Beginn des 16. Jahrhunderts die kontroverse Diskussion mit dem Averroismus in Italien einen Höhepunkt erreichte. So verwundert es nicht, selbst in Sizilien vergleichbare Gemälde um 1500 zu finden, die heute in der Galleria Regionale in Syrakus und der Galleria Nazionale in Palermo aufbewahrt werden.

Die vorgelegten Bildbeispiele sind im Kontext der großen theologischen Auseinandersetzungen der Dominikanergelehrten Albertus Magnus und Thomas von Aquin mit den Vertretern des lateinischen Averroismus an der Pariser Artistenfakultät gegen Ende des 13. Jahrhunderts zu sehen, aber auch im Zusammenhang mit dem Widerstand der Augustinereremiten gegen den albertino-thomistischen Aristotelismus und Averroismus, der im 15. Jahrhundert von Neuem an Aktualität gewonnen hatte.

In erweiterter Form mit Quellentexten, Anmerkungsapparat und zahlreichen Abbildungen wurde der Vortrag publiziert in: *Miscellanea Mediaevalia* (Veröffentlichungen des Thomas-Instituts der Universität zu Köln) Band 33 „Wissen über Grenzen. Arabisches Wissen und lateinisches Mittelalter“. Berlin/New York 2006, S. 717-744 unter dem Titel: Disputation mit Averroes oder Unterwerfung des „Kommentators“. Zu seinem Bild in der Malerei des Mittelalters und der Renaissance.

Schlussworte des Generalsekretärs

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

Gottes ist der Orient!
Gottes ist der Okzident!

lesen wir unter dem Titel „Talismane“ im 1819 erschienenen „West-östlichen Divan“, und Goethe war nicht der letzte, der uns Europäer sensibilisiert hat für die nun schon weit über ein Jahrtausend währende fruchtbare Nachbarschaft, ohne die das werdende Europa einen ganz anderen und zweifellos sehr viel düftigeren geschichtlichen Weg genommen hätte. Heute hat uns Herr Zahlten mit seinem kunstgeschichtlichen Wissen so reich beschenkt wie in den orientalischen Märchen der Sultan seine scheidenden Gäste und uns diese fruchtbare Nachbarschaft als eine Nachbarschaft des Geistes vor das innere Auge geführt – ihm sei herzlich gedankt.

In der Tat! Die hohe Zeit der Scholastik, der Europa seine Universitäten verdankt, verdankte ihrerseits den neu erwachten Sinn für strenges wissenschaftliches Denken, für *Methode*, dem Aristoteles, der ihr nicht etwa durch ungebrochene griechisch-lateinische Tradition – zwischen der so genannten Spätantike und der Scholastik lag als garstiger Graben die Zeit der Völkerwanderung –, sondern dank der intellektuellen Unruhe des zur Weltmacht gewordenen Islam zum Vor-Denker wurde. Und früher noch hatte der Westen von der Medizin des Ibn Sina (Avicenna), der Optik des Ibn al-Haitham (Alhazen) oder der Algebra (ein arabisches Wort) des al-Hwarismi gelernt, dessen Name zum mathematischen Terminus technicus „Algorithmus“ geworden ist. Gewiß war Ibn Ruschd (Averroes) in wissenschaftstheoretischer Hinsicht die Autorität, aber unter den sehr vielen Namen aus der syrisch-arabischen Tradition, von denen es in den scholastischen Texten geradezu wimmelt, wird man den seinen so selten finden wie den des Aristoteles selbst, denn beide galten als derart exemplarische Repräsentanten ihrer Disziplinen, daß es Sitte geworden war, schlicht den *Philosophus* und den *Commentator* zu zitieren.

Merkwürdig genug war mit Ibn Ruschds Vertreibung aus Cordoba 1195 die große Zeit wissenschaftlichen Denkens in der damals auch religiös buntscheckigen arabisch beherrschten Welt vorüber. Die Orthodoxie, scheint es, hatte gesiegt, und daß der Sieg nachhaltig war, möchte wohl auch in Zusammenhang stehen mit dem fortwährenden militärischen Druck, dem der Orient sich durch den expansiven Okzident ausgesetzt sah. Die Nachbarschaft war fruchtbar, aber sie war immer auch eine gespannte Nachbarschaft, im Jahr von Ibn Ruschds Tod 1198 begann der schon vierte Kreuzzug.

Die Kreuzzüge sind ein aktuelles Stichwort, aber es ist töricht, sich gegenseitig Militarismus und Imperialismus vorwerfen zu wollen. Die Europäer haben schon gegeneinander und ununterbrochen die schlimmsten Kriege geführt, um nur an den hundertjährigen Krieg und den dreißigjährigen Krieg zu erinnern, und im Osten ging es keineswegs friedlicher zu. Zur Weltmacht wurde der Islam nicht durch Bekehrungswellen, sondern durch Eroberungswellen.

Übrigens gehörten viele der östlichen Gelehrten, deren geistige Leistungen den Westen zu formen halfen, religiös nicht der islamischen, sondern der jüdischen oder einer der vielen christlichen Sondertraditionen an. Die zweite große geistige Macht des Orients, an der sich der Okzident zu bilden und zu sich selbst zu kommen hatte, war die orthodoxe Christenheit. Daß heute auch in ihr, nicht nur im nordamerikanischen Christentum und im Islam der Fundamentalismus neue und zum Teil politisch-phantastische Blüten treibt, führte mir vor einigen Wochen ein Kenner des akademischen Klimas in der ehemaligen Soviet-Union drastisch genug vor Augen. Und die Geschichte der Moderne sowohl wie unsre unmittelbare Gegenwart können uns darüber belehren, daß wir die in all diesen Fundamentalismen brütende Gefahr brutaler Regression nicht zu überkommen vermögen durch Wissenschaft und Technik, sondern allein durch das *wissenschaftlich-technische* Denken, das sich als wissenschaftlich-technisches *Denken* jederzeit auf seinen **humus** besinnt, den Mutterboden der Humanität, in dem es wurzelt und aus dem zuletzt es seine Kräfte zieht. Die Griechen, denen wir unser wissenschaftlich-technisches, das *welt-offene* Denken verdanken, wußten wohl, daß dieser Mutterboden die Sprache ist als das *dialegesthai*, nämlich das gemeinsame Besprechen und Durchsprechen der gemeinsamen Sache – das Gespräch.

Besinnen wir uns *darauf*, wird auch das Jahr der Wissenschaft in der Stadt der Wissenschaft 2007 nicht in Proklamationen, Events und Späßen verpuffen. In diesem Sinn darf ich Sie alle nun zum fortgesetzten Gespräch in die schönen Räume der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft einladen.

Moses Mendelssohn, die Aufklärung und das moderne Judentum*

GUNTHER KÜHNE

Geheimrat-Ebert-Str. 14, D-38640 Goslar

Das in den letzten Jahren zu beobachtende Wiederaufblühen jüdischen Lebens in Deutschland und die in neuerer Zeit erschienenen zahlreichen Familien- und Lebenszeugnisse von Persönlichkeiten, die darin ihren jüdischen Familienhintergrund schildern und verarbeiten, haben das Interesse an den historisch gewachsenen Lebenswelten der jüdischen Gemeinschaft in Deutschland angeregt. Dabei fällt der Blick sehr schnell auf Moses Mendelssohn, den „Stammvater“ der deutschen und mitteleuropäischen Judenheit. Mit der von ihm maßgeblich mitgeprägten, auch spezifisch jüdische Parallelbestrebungen (Haskala) aufnehmenden Aufklärungsbewegung hat er im Laufe des 18. Jahrhunderts vor allem tief in die jüdische Welt hineingewirkt. Die dadurch entstandene religiöse und kulturelle Prägung und die damit einhergehende, im 19. Jahrhundert mit erstaunlicher Geschwindigkeit vollzogene Verbürgerlichung der jüdischen Gemeinschaft in Deutschland haben zu deren raschem wirtschaftlichem und gesellschaftlichem Aufstieg geführt. Dieser war wiederum die Grundlage für den ungewöhnlichen Beitrag, den aus der jüdischen Gemeinschaft hervorgegangene Persönlichkeiten im 19. und 20. Jahrhundert zum wissenschaftlichen und künstlerischen Leben Mitteleuropas mit Auswirkungen bis nach Amerika – insbesondere über die deutsch-jüdischen Auswanderer des 19. Jahrhunderts und – vor allem im Zusammenhang mit der nationalsozialistischen Judenverfolgung – des 20. Jahrhunderts – geleistet haben.

Die Abhandlung, die diese kulturelle (Nach-)Wirkung Moses Mendelssohns über die Aufklärung auf das deutsche Judentum und darüber hinaus nachzeichnet und analysiert, wendet sich in abschließenden Abschnitten der Bedeutung dieses Erbes für die heutige jüdische Gemeinschaft sowie den Parallelen, aber auch gravierenden Unterschieden zwischen der Integration der jüdischen Minderheit im 18./19. Jahrhundert und der Integrationsproblematik der heutigen muslimischen Zuwanderungsminderheit zu.

* Kurzfassung des am 09.02.2007 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags. Die ausführliche Fassung erscheint in den Abhandlungen der BWG Band 59 [2007].

Entwicklungstrends in den Elektronischen Medien – von IPTV bis HDTV*

ULRICH REIMERS

Institut für Nachrichtentechnik, TU-Braunschweig
Schleinitzstraße 22, D-38106 Braunschweig

Man könnte meinen, mit der Einführung des Digitalfernsehens per Satellit (DVB-S), Kabel (DVB-C) und terrestrischer Ausstrahlung (DVB-T), wie wir es heute bereits kennen und nutzen, sei ein Stand der Technik erreicht, der weitere Entwicklungen kaum mehr sinnvoll erscheinen lässt. Das Gegenteil ist der Fall. Mit ständig wachsender Geschwindigkeit entstehen zum Beispiel Lösungen für Hörfunk, Fernsehen und Datenrundfunk auf dem Handy (Mobile TV- DVB-H / DVB-SH), Fernsehen per Internetzugang (IPTV) oder auch Fernsehen hoher Darstellungskraft (HDTV). Auf der Basis aktueller Forschung sollen bereits in wenigen Jahren in manchen Ländern sogar Übertragungssysteme eingeführt werden, die die erste Generation des nun schon beinahe „klassischen“ Digitalfernsehens ablösen können und den theoretischen Grenzen der Übertragungseffizienz so nahe kommen, dass noch weitergehende Verbesserungen dann nicht mehr möglich sein werden (DVB-S2, DVB-C2, DVB-T2).

Der Vortrag zeigt diese Entwicklungen auf, erläutert die technischen Hintergründe und analysiert die Perspektiven der Markteinführung.

I. Entwicklungstrends – eine Übersicht

Ich möchte Ihnen gerne einen kleinen Abriss dessen geben, was im Moment in der Technik der Elektronischen Medien „en vogue“ ist. Ich möchte drei Beispiele derartiger Themen vorstellen: Mobile TV, IPTV und HDTV. Jetzt werden Sie sagen: „Um Himmels willen, diese Abkürzungen!“ Die werde ich später natürlich erläutern. Aber bevor ich mich auf die drei Schwerpunkte einlasse erst noch ein kleiner Überblick auch über Themen, die alternativ besprochen werden könnten:

Es gibt den digitalen Hörfunk: Digital Audio Broadcasting. Er existiert, aber er wird wenig genutzt. Ich denke nicht, dass er – angesichts der vielen Jahre, in

* Kurzfassung des am 16.03.2007 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

denen er bereits ohne große Publikumswirksamkeit existiert –, noch große Chancen für einen Markterfolg besitzt.

Das digitale terrestrische Fernsehen, DVB-T, ist in Deutschland bereits mit großem Erfolg eingeführt. Wir reden im Moment von mehr als neun Millionen Empfangsgeräten. Dieses digitale terrestrische Fernsehen haben wir seit 2002 eingeführt. Ende 2008 wird das analoge terrestrische Fernsehen schon überall in Deutschland ausgeschaltet sein. Da wird eine ganz stille Revolution stattgefunden haben, die es in der Welt kaum an anderer Stelle gibt, da man z. B. in England gerade erst beginnt, über das Ausschalten des analogen Fernsehens, als eines vorhandenen Dienstes, nachzudenken und es erst 2012 dann wirklich auch ausgeschaltet worden sein wird. Da sind wir also in Deutschland absolut an der Spitze.

Man kann auch lesen, dass kommerzielle Fernsehanbieter daran denken, ihre Programme zu verschlüsseln. Das ist das Projekt „Entavio“. Und dann liest man in der Zeitung, dass die Deutsche Telekom AG VDSL-Netze ausbaut, um darüber auch Hörfunk und Fernsehen anzubieten. VDSL ist jetzt die erste Abkürzung: Very High Data Rate Digital Subscriber Line – die Subscriber Line ist auf Deutsch die Telefonanschlussleitung. Auf dieser Telefonleitung können per VDSL Daten mit sehr hoher Datenrate nach Hause übertragen werden. Plötzlich existiert also ein neuer Transportweg für Hörfunk und Fernsehen und dessen Existenz hat Konsequenzen, worauf ich gleich noch eingehen werde.

Was gibt es denn noch?

Zunehmend stellen die Programmanbieter ihre Programme auch rückwirkend per Internet zur Verfügung und ermöglichen damit das Aufladen von Video-Playern für den Weg zur Arbeit. Wenn Sie also gestern Abend den Tatort verpasst haben, so laden sie diesen morgens während des Frühstücks auf ein Taschengerät, und wenn Sie dann im Zug sitzen auf dem Weg zur Arbeit, schauen Sie den Tatort vom Abend vorher. Alle Programme der letzten acht Tage sollen abrufbar werden.

Empfangsgeräte mit eingebauter Festplatte, also einer Speicherplatte, wie wir sie vom Computer kennen, ermöglichen das Aufzeichnen von Fernsehprogrammen, und zwar minutengenau, so dass Sie, wenn die Werbung kommt, diese mit einem Knopfdruck rasch überspringen können. Dazu brauchen Sie, wenn Sie z. B. heute Abend „Wer wird Millionär“ schauen wollen, etwa 10 Minuten Vorlauf; „Wer wird Millionär“ beginnt dann für Sie nicht um 20.15 Uhr, sondern um 20.25 Uhr, aber dafür endet es wieder um 21.15 Uhr ganz ohne Werbung. Das ist eine Revolution für das duale System, wie Sie sich vorstellen können, die werbefinanzierten Programmanbietern natürlich Sorgen macht. Lösungen für Content Protection and Copy Management (CPCM) stehen gerade vor der Fertigstellung. Die Lösungen werden es ermöglichen, dass die Nutzung von Medieninhalten zuhause vom Programmanbieter oder vom Rechteinhaber

kontrolliert werden kann. Der sagt Ihnen dann, wie oft Sie Ihre Videoaufzeichnung überhaupt noch sehen dürfen oder ob Sie überhaupt noch aufzeichnen dürfen – ein Thema, das mit dem hochauflösenden Fernsehen (HDTV) direkt verkoppelt ist, weswegen ich diese beiden Aspekte nachher noch einmal im Kontext vorstellen möchte. Mit HDTV, dem High Definition Television, für dessen Name die beste deutsche Übersetzung „Fernsehen hoher Darstellungskraft“ lautet, steht ein System vor der Tür, das plötzlich das Thema Programmrechte und Wertigkeit der Programmrechte grundsätzlich verändert und deswegen gerade in den Studios in Hollywood zu heftigem Nachdenken führt.

Und jetzt kann ich wirklich sagen: und so weiter, und so weiter. Denn wir arbeiten in der Forschung an einer Vielzahl neuer Dinge, die eben noch nicht in der Frankfurter Allgemeinen stehen, und deswegen möchte ich an dieser Stelle auch den ersten Überblick über technische Entwicklungen beenden.

Nun greife ich die bereits angekündigten drei Beispiele heraus, von denen ich glaube, dass sie für Sie eine gewisse Relevanz besitzen werden:

II. Mobile TV

Das erste Beispiel ist das Thema Mobile TV. Dieser Begriff wird eigentlich mit „mobiles Fernsehen“ übersetzt, aber er bezieht sich in Wirklichkeit auf das „Mobile“, und dieses ist zum Beispiel Ihr normales Funktelefon, Ihr Handy. Wenn Sie sich heute Ihr Handy einmal anschauen, so kann dieses bereits sehr viel. Sie können damit telefonieren – dafür ist es ja mal gemacht worden. Dann können Sie damit SMS – Short Message Service – schreiben; Sie können damit natürlich fotografieren – Nokia ist mittlerweile nach eigenen Angaben der größte Kamera-Hersteller weltweit. Sie können damit Bilder oder Videos versenden; das sind dann MMS – Multimedia Message Service. Sie können Emails lesen, Sie können im Internet surfen, Sie können Ihren Terminkalender verwalten, Sie können Ihre Kontaktdatenbank verwalten, Sie können MP3-Musik hören und Sie können damit vielleicht auch UKW-Radio hören. Vielleicht haben Sie die Vorstellung auf der CES in Las Vegas verfolgt, auf der Steve Jobs sein neues Apple iPhone vorgestellt hat. Das geht genau in diese Richtung. Vergleichbare Geräte gibt es aber auch heute schon. Was man aus meiner Auflistung erkennen kann: Diese Mobiltelefone werden immer leistungsfähiger und werden immer mehr zum persönlichen Kommunikationszentrum. Natürlich haben diese Geräte Limitierungen, unter anderem die geringe Größe des Displays, d. h., auf dem Gerät werden Sie sich nicht den Tatort in voller Länge ansehen wollen. Eine weitere Einschränkung ist die geringe Größe der Tastatur, mit der Sie lange juristische Texte nicht werden schreiben wollen. Und diese Geräte müssen aus einer kleinen Batterie leben, d. h., sie müssen lange in Betrieb bleiben können, ohne dass ein Aufladen erforderlich wird.

Was fehlt heutigen Mobiltelefonen noch?

Da ist zunächst einmal das Fernsehen. Aber will ich auf dem Handy fernsehen? Und dann fehlt die Navigation. Sie werden in Kürze vor dem Schloss in Braunschweig stehen können und von da aus mit dem Navigationssystem auf Ihrem Handy den Weg zur TU finden. Handy-Navigation ist eine technische Lösung, die allenthalben aus den Labors kommt. Aber auch das Thema Fernsehen auf dem Handy ist kein Hirngespinnst mehr, und damit sind wir bei dem Thema, das jetzt zu diesem Vortrag passt. Die Lösung, über die ich berichten möchte, basiert auf DVB-Handheld (DVB-H), ein System, das wirklich dafür gedacht und entwickelt worden ist, dass man es auf einem kleinen Gerät auch wirklich benutzen kann. DVB-H ist ein Rundfunksystem, ein Broadcast-System, mit dem Sie Daten jeder Art übertragen können. Die Daten, die Sie übertragen, basieren auf dem Internetprotokoll, d. h., eigentlich übertragen Sie auf Ihr Handy Internetdaten. Dieses System ist eine technische Entwicklung, die wir im Rahmen des Internationalen DVB-Projektes erdacht und so optimiert haben, dass der Batteriebetrieb möglich ist und wir kleine Bildschirme besonders gut unterstützen. Natürlich wollen Sie an Ihrem Handy auch keine langen Antennen herausziehen müssen, bevor Sie es benutzen, d. h., auch der Betrieb mit kleinen Antennen wird durch DVB-H ermöglicht. Das Ganze gibt es für Kanäle unterschiedlichster Bandbreiten. Im Januar 2007 ist in den USA zum Beispiel der Start des DVB-H-Dienstes in Rundfunkkanälen der Bandbreite 5MHz bekannt gegeben worden. Typischerweise überträgt man in Europa DVB-H in einem Frequenzbereich, der bisher für das Fernsehen benutzt wurde. Da liegt schon ein erster Konflikt, denn plötzlich wollen Unternehmen Rundfunk für das Handy anbieten und dafür Frequenzen verwenden, von denen bisher öffentlich-rechtlicher und privater Rundfunk glaubten, sie gehörten ihnen. Die Empfangseinheiten für DVB-H haben tatsächlich eine sehr geringe Leistungsaufnahme, und mit einer Batterieladung funktioniert der Empfang stundenlang. DVB-H überträgt z. B. fünf Millionen Bit in der Sekunde auf Ihr Handy und das reicht z. B. für zwanzig Videoprogramme oder auch für fünfzig Hörfunkprogramme in einem einzigen Übertragungskanal. Damit bietet sich eine ungeheure Vielfalt von Optionen. Geräte für DVB-H gibt es bereits in großer Vielfalt. Die Einführung von DVB-H-basierten Diensten findet derzeit in vielen Ländern der Welt statt. Pionier war in diesem Fall Italien. Dort gibt es zwei Provider oder Anbieter, die DVB-Angebote machen. Ich gehe davon aus, dass DVB-H in Deutschland im Frühjahr 2008 starten wird.

Lassen Sie mich nach der Vorstellung von Mobile TV ein erstes Zwischenfazit ziehen: Zukünftig wird fast jede Frau und jeder Mann einen Hörfunk- und Fernsehempfänger in der Tasche haben – und plötzlich gehören Fernseh- oder Hörfunkempfänger zur persönlichen Ausstattung. Das müssen Sie an der Entwicklung des Telefons spiegeln. Wenn ich Sie vor zehn Jahren gefragt hätte, ob Sie ein Telefon haben, dann hätten Sie gesagt: „Natürlich eins im Wohnzimmer und eins im Büro.“ Wenn ich Sie heute frage „Haben Sie ein Telefon?“, dann

werden Sie sagen: „Selbstverständlich, ich habe eins in der Tasche.“ Ob man es glaubt oder nicht: Genau diesen Weg werden im Zuge der Weiterentwicklung der Leistungsfähigkeit von Taschengeräten die elektronischen Medien-Endgeräte für Hörfunk und Fernsehen ebenfalls gehen.

Da kommen jetzt sehr spannende Fragen zu den Geschäftsmodellen auf. Die Geschäftsmodelle variieren in ganz weiten Grenzen. In Japan z. B. heißt das Geschäftsmodell: Alle Angebote frei empfangbar. Da geht man also hin, kauft sich sein neues Handy oder schließt mit seinem Handy-Anbieter einen neuen Vertrag; das Gerät, das man dann bekommt, hat diesen Fernsehempfänger eingebaut und man sieht das, was die Programmanbieter ausstrahlen, ohne dass man dafür eigens bezahlt. Andere Länder, andere Netzbetreiber möchten aber gerne das Ganze nur gegen Abonnement-Gebühren ermöglichen; es wird versucht, Fernsehen zu einer Art von abonniertem Dienst auf dem Handy zu machen. Das ist z. B. das Modell, das dem deutschen Ansatz zu Grunde liegt. Es stellt sich dann sofort die Frage: Wie wird eigentlich die Zahlung der Rundfunkgebühr ausgelöst? Denn plötzlich hat ja jeder von uns ein Gerät in der Tasche und dies könnte der Bereithaltung eines Fernsehempfangsgerätes bereits entsprechen. Die Fragestellung lautet: Ist dann wirklich die Bereithaltung eines Gerätes noch der Punkt, an dem die Gebührenpflicht ansetzen kann?

III. IPTV

Das zweite Beispiel – ebenfalls unmittelbar vor, ja eigentlich schon in – der Einführung, ebenfalls etwas, das ganz grundsätzliche neue Fragestellungen aufwirft, ist IPTV. Zur Einführung will ich ein paar Begriffe erläutern. Beginnen wir mit dem Internet-Protokoll, dem IP – ein Begriff, der in aller Munde ist. Das Internet-Protokoll ist eine Methode, Daten, also Bits, so in Päckchen zu verpacken, dass man diese Päckchen über alle möglichen Netze verschicken kann, also z. B. im Flughafen-Terminal über W-LAN auf den Laptop oder bei Ihnen im Büro über den Internetzugang oder aber eben auch z. B. über das System, das ich Ihnen soeben erst vorgestellt habe, also DVB-H. Das IP ist einfach eine „Päckchenverpackmethode“. Man kann IP über Satellit einsetzen, man kann es über die terrestrischen Sender einsetzen, d. h., dieses Internetprotokoll ist gar nicht spezifisch für die Netze, die der Privatmensch braucht, um seinen PC an das Internet anzuschließen, sondern es ist einfach ein ganz generisches Daten-Paketier-Verfahren. Trotzdem ist IPTV – obwohl das IP an sich so generisch ist und obwohl TV, Fernsehen, auch so generisch ist – im Grunde ein Synonym für ein Angebot, mit dem TV- und Radioprogramme über die Telefonleitung – nicht über den Satelliten, nicht über Mobile TV – ins Haus kommen. IPTV ist Internet Protocol TeleVision und dient im Grunde dazu, Telefonnetze für Hörfunk und Fernsehen aufzuschließen. Es gibt schon

zwei Angebote in Deutschland. Das wahrscheinlich bedeutendste ist das Angebot T-Home. Wenn Sie also jetzt im Internet auf die Website „www.t-home.de“ gehen, dann sind Sie mitten in der Angebotsseite der Deutschen Telekom, die IPTV bereits aktiv vermarktet.

Warum jetzt plötzlich über die Telefonleitung auch noch fernsehen? Das haben wir doch bisher nicht gebraucht. Nun, es gibt das Hilfsmittel der Videocodierung, mit der man Videosignale, wenn man so will, einschrumpfen kann, ohne dass der Zuschauer merkt, dass die Einschrumpfung stattgefunden hat. Einschrumpfen heißt, dass man die Datenmenge, die man in der Sekunde übertragen muss, so reduziert, dass sie sich über Telefonnetze übertragen lässt. Etwa zwei Millionen Bit in der Sekunde reichen bei den allerneuesten Verfahren der Videocodierung aus, um ein hochqualitatives Fernsehbild auf den Fernsehempfänger – nicht auf das kleine Display des Handys, sondern wirklich auf den großen Fernseher – zu transportieren. Wenn jetzt die Deutsche Telekom AG das VDSL-Netz realisiert, kann sie Ihnen aber bis zu 52 Millionen Bit in der Sekunde auf diesem Netz übertragen. Jetzt können Sie kopfrechnen und sagen: „Das würde ja bedeuten, dass ich über die Telefonleitung gleichzeitig 26 Fernsehprogramme sehen kann.“ So einfach ist die Sache aber nicht, denn mit der Einführung von IPTV erfolgt ein Paradigmenwechsel. Es geht nicht mehr wie beim klassischen Kabelfernsehen darum, gleichzeitig 30 Programme im Angebot zu haben, aus denen man vor Ort, also zu Hause, auswählt, da sie alle gleichzeitig ins Haus übertragen werden, sondern jetzt heißt die Botschaft: 26 Fernsehprogramme, die Sie gleichzeitig auf unterschiedlichen Endgeräten nutzen könnten, auswählbar aus tausenden von Fernsehprogrammen, die im Angebot sind. Die Auswahl aber treffen Sie nicht mehr bei sich zu Hause, sondern Sie signalisieren dem IPTV-Anbieter, welche der Programme er ihnen nach Hause transportieren soll. Und nur die kommen dann auch bei Ihnen an. Warum also jetzt (erst) IPTV? Weil da zwei Dinge zusammenkommen. Die Videocodierung macht Video für die Telefonleitung handhabbar, und die Übertragungsdatenraten auf dieser Telefonleitung sind so hoch geworden, dass eigentlich nur noch Video kommerziell Sinn macht, weil kein Privatmensch etwas mit den durch VDSL möglich gewordenen Datenraten anfangen wird – außer Fernsehen. Im Übrigen sind sowieso die Telekom-Anbieter der Welt dabei, ihre so genannten Backbone-Netze, also ihre professionellen Datenleitungen, auf IP umzustellen; das geht wunderbar Hand in Hand, und schließlich ist IPTV für viele Unternehmen die Chance, jetzt in das TV-Geschäft einzudringen und damit den Satelliten-Betreibern und den Kabelnetz-Betreibern Konkurrenz zu machen, indem man sagt: „Bei mir kommt alles über die Telefonleitung.“

IPTV ermöglicht Ihnen aber nicht nur das klassische „lineare“ Konsumieren von Fernsehprogrammen, sondern Sie können sich darüber Videos abrufen wie aus einer Videothek, in der man DVDs ausleihen kann, Sie können sich auch

monatliche Abonnements leisten, Sie können einen Videorecorder betreiben, der gar nicht bei Ihnen zuhause steht, sondern der irgendwo im Netz der Telekom steht, auf dem Sie aber Inhalte aufzeichnen, die dann Ihnen individuell – wann immer Sie sie konsumieren wollen – zugespielt werden. Sie können per IPTV natürlich interaktive Dienste – E-Commerce-Angebote, Spiele, etc. – nutzen. IPTV bietet Ihnen also die ganze Palette der Dienste, die auch heute im Internet verfügbar ist. Aber dann gibt es eben auch noch Hörfunk, Live-Fernsehen und hochauflösendes Fernsehen – und das alles auf einer schon vorhandenen Telefonleitung.

Wie weit ist die VDSL-Planung in Deutschland? Wenn Sie die Website von T-Home aufsuchen, finden Sie dort eine Deutschlandkarte, auf der Sie sehen, dass dies eine Technik für die Ballungsräume ist. Sie wird auch ballungsraum-spezifisch bleiben müssen; VDSL wird aus technischen und kommerziellen Gründen nicht in die große Fläche hineingetragen werden.

ZWISCHENFAZIT: Man hätte vielleicht gedacht, dass Kabel, terrestrische Verbreitungswege und Satellit für das Fernsehen reichen, aber nein. Das Beispiel, das ich hier ausgewählt habe, zeigt, dass neue Verbreitungswege für Hörfunk und Fernsehen in Sicht sind, und das ist in der Realität nicht nur die Telefonleitung, sondern da kommt möglicherweise auch noch ein Funksystem, mit dem Sie ganze Städte abdecken können. Die Versteigerungen der anfänglichen Funknetzkapazitäten dafür haben im Dezember 2006 stattgefunden – WiMAX ist dafür der Begriff.

Eine weitere Erkenntnis ist: Hier werden auf einem Verbreitungsweg Telefon und der Internet-Zugang und der Hörfunk und das Fernsehen – Triple-Play ist der europäische Begriff dafür – integriert. Das heißt, es entstehen multifunktionale Kommunikationsnetze. Plötzlich gibt es ein Problem, zu trennen, was Rundfunk- und was Telekommunikationsdienste sind, denn alle derartigen Angebote finden auf demselben Netz statt, betrieben von demselben Netzbetreiber. Die Rundfunkteilnehmer, die diese Verbreitungswege nutzen, sind dem Netzbetreiber bekannt, denn sie haben mit ihm einen Vertrag geschlossen. Nun könnte man sagen: „Kein Problem, das hat es beim Kabelfernsehen auch schon gegeben.“ Aber neu ist jetzt: Die Nutzungsgewohnheiten sind dem Netzbetreiber plötzlich ebenfalls bekannt. Beim Kabel hatten Sie Ihre dreißig Programme im Angebot, und welches Sie davon lokal im Wohnzimmer ausgewählt haben, wusste niemand. Jetzt haben Sie tausend Programme im Angebot, und wenn Sie einen Erotikkanal einschalten, dann bleibt das nicht mehr verborgen. Selbstverständlich liegt es für den Netzbetreiber nahe, sich an Ihre Nutzungsgewohnheiten zu adaptieren und ihnen dann spezielle Angebote zu machen, oder auch spezielle Werbung zu schalten, die Ihren Nutzungsinteressen entsprechend ausgewählt wird.

IV. HDTV

Das letzte Beispiel einer technischen Neuerung, die in den Startlöchern steht, ist das Fernsehen hoher Darstellungskraft (HDTV). Unser heutiges Standardfernsehen (Standard Definition Television – SDTV) nutzt 575 Zeilen, aus denen ein Bild aufgebaut ist, und 720 Bildpunkte, die entlang der Zeile das Bild definieren. Zukünftig sehen wir ungefähr doppelt soviel, also zum Beispiel 1080 Zeilen, und wir sehen in jeder Zeile 1920 Bildpunkte, also von Allem etwa zweimal, dreimal soviel. Das bedeutet, dass Sie eine derartige Flut von Details auf dem Bildschirm angeboten bekommen, dass es mit dem heutigen Fernsehempfänger überhaupt keinen Sinn mehr macht, diese Programminhalte zu betrachten, denn Ihr Sitzabstand zu Ihrem heutigen Fernseher entspricht mindestens dem Sechsfachen der Höhe des Bildschirms – die Väter des heutigen Fernsehsystems waren aber davon ausgegangen, dass Sie deutlich näher am Bildschirm sitzen und entsprechend wurde auch die Zahl der Zeilen und die der Bildpunkte in jeder Zeile konzipiert. Das bedeutet, dass Sie über die heutigen Fernsehempfänger im Abstand des Sechsfachen der Bildhöhe die Details, die ihnen das heutige Fernsehen (SDTV) bietet, schon gar nicht mehr wahrnehmen können, geschweige denn hochauflösendes Fernsehen brauchen. Deswegen macht HDTV auch nur wirklich auf einem großen Display Sinn, denn eines werden Sie nicht dürfen – das wird Ihre Frau schon verhindern: den Couchtisch in Richtung auf den Fernseher verschieben. Und deswegen, weil Sie Ihren Fernsehsessel an der Stelle lassen wollen, wo er jetzt steht, brauchen Sie eben einen HDTV-Empfänger mit einem großen Bild. Sie sehen: Wir reden hier über die Thematik des großen Bildschirms und damit natürlich – was die Konsum-Elektronikindustrie besonders liebt – über neue Geräte und höheren Umsatz in der Branche.

Es hat schon einmal einen Versuch gegeben, HDTV einzuführen. Auch an der TU Braunschweig hat schon mein verehrter Doktorvater, Prof. Schönfelder, in den 1980er Jahren auf diesem Thema geforscht. Seit diesem ersten vergeblichen Versuch der Markteinführung hat sich allerdings vieles geändert. Die Flachbildschirme übernehmen tatsächlich den Markt. Es gibt jetzt die geeigneten Techniken für die Codierung dieser Bilder und auch Möglichkeiten, HDTV-Programme kostengünstig – insbesondere per Satellit – zu transportieren. Die Programmproduktion in den Studios ist nicht mehr unbezahlbar und viele Programmanbieter sind dabei, graduell auf diese neue Produktionstechnik umzurüsten.

Wenn man sich den Markt der Displays in Deutschland anschaut, wird sofort klar, dass die Absatzzahlen der flachen Displays rapide zunehmen. Man muss hier aber sehr sorgfältig auf die Details achten: Ein Display, das HDTV-Bilder darstellen kann, ist nämlich kein Empfänger. Den müssen Sie separat erwerben. Viele Displays betreiben intern eine umfangreiche Bildbearbeitung und man-

che verschlechtern dabei im Vergleich zu dem, was heute mit einem guten Gerät mit Bildröhre möglich ist, die Bildqualität. Leider verwirrt der Fachhandel Käuferinnen und Käufer mit Produkt-Logos jeglicher Art, und wenn Sie tatsächlich so ein Flachbilddisplay kaufen, dann kann es Ihnen durchaus passieren, dass Sie mit etwas nach Hause kommen, von dem Sie nicht wissen, was es tatsächlich leisten kann.

Es sind bisher nur wenige HDTV-Programme in Deutschland zu empfangen. Es gibt einige HDTV-Sendungen im Pay-TV von Premiere, es gibt Programme, die frei empfangbar sind, von ProSieben/Sat.1 und es gibt ANIXE als speziellen HD-Kanal. Die öffentlich-rechtlichen Programmanbieter planen, zum Jahresbeginn 2010 – zur Winterolympiade in Vancouver – mit HDTV-Ausstrahlungen zu starten. Dann dürfte es in Deutschland „so richtig losgehen“.

V. Zusammenfassung

Lassen Sie mich abschließend einige wenige Erkenntnisse zusammenfassen, die in dem vorstehenden Beitrag hoffentlich deutlich geworden sind: Rundfunk ist ein Kind der Technik und bleibt es. Diese Erkenntnis hat schon der damalige Intendant des Süddeutschen Rundfunks, Hans Bausch, in seinem Buch „Rundfunk in Deutschland nach 1945“ publiziert. Eine Vielzahl neuer Techniken für den Rundfunk wird derzeit eingeführt oder steht kurz vor der Einführung. Und diese Entstehung immer neuer Vielfalt wird weitergehen. Alles ist digital. Das Wort „digital“ können Sie aus Ihrem Wortschatz streichen, denn das Wort „analog“ hat keine Bedeutung mehr, und daher muss „digital“ von „analog“ auch nicht mehr abgegrenzt werden. Die Endgeräte werden immer leistungsfähiger – das haben wir an dem Beispiel Mobile TV gesehen – und das ist so, weil das viel zitierte „MOORE’S LAW“, das aus der Chip-Branche stammt und besagt, dass Chips etwa alle 2 Jahre etwa um den Faktor 2 leistungsfähiger werden, weiter gilt. Wir können prognostizieren, dass dieselbe Klasse von Endgerät von Generation zu Generation immer mehr Dienste anbieten kann. Die Kommunikationsnetze, die wir nutzen, sei es nun der Satellit oder terrestrische Netze oder die Telefonleitung, werden immer leistungsfähiger; hierfür hatte ich das Beispiel IPTV gewählt. Und in vielen dieser Netze verschwindet die bisherige Anonymität der Rundfunknutzung.

Transdisziplinarität in der Energieforschung – Das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen als Brücke zur Transdisziplinarität?*

HANS-PETER BECK UND JENS-PETER SPRINGMANN

Energie-Forschungszentrum Niedersachsen der Technischen Universität Clausthal
Am Stollen 19, D-38640 Goslar

1. Einleitung

Die fortschreitende Verknappung der Energieressourcen wird die Menschheit zukünftig vor immer größere Herausforderungen stellen, den immer weiter ansteigenden Energiebedarf auch zukünftig nachhaltig zu decken. Diese Herausforderung ist keineswegs trivial und lässt sich im wissenschaftlichen Bereich nicht separieren und durch einzelne Fachdisziplinen allein lösen. Vielmehr bedarf es hierzu einer anderen Organisation der wissenschaftlichen Zusammenarbeit, um durch eine dauerhafte, die einzelnen Disziplinen integrierende sogenannte transdisziplinäre Zusammenarbeit adäquate Lösungen entwickeln zu können. Das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) strebt diesem Ansatz folgend Lösungsbeiträge zur Entwicklung nachhaltiger technisch sinnvoller, ökonomisch tragfähiger und sozial akzeptierbarer Energiesysteme an. Der vorliegende Aufsatz skizziert die wissenschaftstheoretischen Hintergründe und die Notwendigkeit eines Umschwenkens der wissenschaftlichen Arbeitsweise hin zu einer transdisziplinären. Anhand eines konkreten Forschungsprojektes, das im Vorlauf der Errichtung des EFZN an der Technischen Universität Clausthal durchgeführt wurde, wird aufgezeigt, dass sich zahlreiche hochkomplexe Fragestellungen adäquat nur im organisierten und lokal konzentrierten Verbund verschiedener Forschungsdisziplinen lösen lassen.

2. Die Komplexität des Energieproblems und wissenschaftliche Disziplinarität

Die Entwicklungsgeschichte der Menschheit ist untrennbar mit der Bereitstellung, Verfügbarkeit und Nutzung von Energie verbunden. Für die Zukunft

* Kurzfassung des am 07.07.2007 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

der Weltgemeinschaft stellt die Energiefrage auf Grund der fortschreitenden Verknappung der Energieressourcen ein zentrales Problem dar. War Energie bislang ein nahezu kostenlos und unerschöpflich zur Verfügung stehendes Gut, so müssen sich gegenwärtige und zukünftige Generationen die nutzbaren Energieträger immer stärker erarbeiten.

Vor dem Problem einer zuverlässigen und zukunftsfähigen Sicherstellung der Energieversorgung stehen nicht nur die sich entwickelnden Länder der Dritten Welt und die Schwellenländer, deren Energieverbrauch in jüngerer Zeit stark zugenommen hat und weiter zunehmen wird. Es gilt gleichermaßen für die hoch entwickelten Industrieländer, deren Energieverbrauch auf hohem Niveau stagniert. Die Zukunft wird ganz wesentlich davon abhängen, wie die Menschheit auf diese Herausforderung reagieren wird.

Experten sind sich weitgehend darüber einig, dass eine globale Energiewende aus zwei Gründen unerlässlich erscheint: um die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit zu schützen und um die Energiearmut in den Entwicklungsländern zu beseitigen. Die Diskussion über die Klimafolgen unseres heutigen Energiesystems, das weltweit zu knapp 90% auf den fossilen Primärenergieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas beruht, hat die Situation verschärft. Eine globale Energiewende, die die Abhängigkeit von den regional konzentrierten Öl- und Gasreserven senken würde, hätte darüber hinaus auch friedensfördernde Wirkungen.

Die aufgezeigte Situation in der Ausgestaltung des zukünftigen Energiesystems sowohl auf globaler wie nationaler und regionaler Ebene stellt damit ein äußerst komplexes Problem dar. Es formuliert neue Anforderungen an die Gesellschaft und letztlich auch an die Wissenschaft.

Der Kern dieses komplexen Problems hat jedoch zahlreiche Aspekte, mit denen sich bereits frühgeschichtliche Gesellschaften befassen mussten: Welche Energie-Rohstoffe sind verfügbar? Welche Umwandlungstechnologien stehen zu deren Nutzbarmachung zur Verfügung? Welche Verwendung finden die Reststoffe der Energieerzeugung? Doch auch wenn diese Fragen über die Zeit nahezu unverändert blieben, so verlangen sie heute nach einer integrativen Beantwortung, die aufgrund des fortschreitenden Komplexitätsgrades moderner Gesellschaften immer schwieriger wird.

So existieren in modernen Gesellschaften zahlreiche Teilsysteme, die im Sinne der Arbeitsteilung bestimmte Funktionen für das sie einbettende gesellschaftliche Gesamtsystem übernehmen. Diese „Funktionale Differenzierung“ ist für moderne Gesellschaften charakteristisch. Jedes gesellschaftliche Teilsystem bildet eigene Strukturen aus und passt sie selbstständig und autonom seiner Umgebung und damit den äußeren Anforderungen an. So stellt auch das

Wissenschaftssystem ein gesellschaftliches Teilsystem dar, das mit weiteren Teilsystemen wie beispielsweise der Politik und der Wirtschaft interagiert.¹

Die „Funktionale Differenzierung“ macht jedoch vor den einzelnen Teilsystemen nicht halt. Vielmehr folgen auch sie dem effizienzerhöhenden Prinzip der gesellschaftlichen Arbeitsteilung, indem sie sich weiter ausdifferenzieren, also intern eine wiederholte Gliederung nach funktionalen Gesichtspunkten vornehmen.

Eine solche Binnendifferenzierung weisen auch die Institutionen und Organisationen des modernen Wissenschaftssystems auf. So ist seit langem eine ständige Auffächerung und Spezialisierung der einzelnen Disziplinen, Fächer und Forschungseinrichtungen zu beobachten, durch die – trotz ihrer zweifelsohne hohen Effizienz zur Lösung anspruchsvoller fachspezifischer Fragestellungen – letztlich die Fähigkeit in größeren, auch fachübergreifenden wissenschaftlichen Zusammenhängen zu denken, deutlich abnimmt. Die Grenzen der klassischen Disziplinen, die vorwiegend institutsbezogen organisiert sind, werden den zunehmend komplexeren Anforderungen und Fragestellungen aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft immer weniger gerecht. Dies gilt auch für die eingangs geschilderte Emissionsproblematik. Die historisch und organisatorisch bedingten Disziplinengrenzen bergen damit die Gefahr, letztlich auch zu Erkenntnisgrenzen zu werden, was bei einer so existenziellen Fragestellung wie der nachhaltigen Energiebereitstellung zur Überlebensfrage der Menschheit werden kann.

3. Transdisziplinarität als Lösungsansatz

Zur Überwindung der durch die fortschreitende Zersplitterung der einzelnen Wissenschaftsdisziplinen entstehenden Erkenntnisgrenzen wird oft die Interdisziplinarität bemüht. Es verbindet sich mit diesem Begriff, der üblicherweise der disziplinären Forschung entgegengesetzt wird, der Gedanke einer Ordnung, die disziplinärer Partikularisierung entgegen wirken soll, um aus den Teilen wieder ein Ganzes werden zu lassen. Zwei Disziplinen und die Brückenfunktion der Interdisziplinarität reichen aber oft nicht aus, die gestellte komplexe Aufgabe auf wissenschaftlicher Grundlage zu lösen. Durch die Schaffung neuer fach- und disziplinenübergreifender Strukturen in der wissenschaftlichen Forschung und so durch die Entwicklung einer sogenannten transdisziplinären Forschungsstrategie (Mittelstraß) wird der Zweipol zum Multipol erweitert.²

¹ Vgl. dazu z.B. PARSONS, T. (1969): „Theoretical Orientations on Modern Societies“, in: Ders.: „Politics and Social Structure“, New York, S. 34-57, und LUHMANN, N. (1982): „Differentiation of Society“, New York.

² Vgl. MITTELSTRASS, J. (2003): Transdisziplinarität – Wissenschaftliche Zukunft und institutionelle Wirklichkeit, Konstanz.

Der immer stärkeren Asymmetrie zwischen disziplinübergreifenden Problemen und der fortschreitenden disziplinären Spezialisierung wird dadurch entgegengewirkt.

Die hohe und weiter zunehmende Komplexität des Energieproblems macht ebenfalls nicht halt vor den Grenzen der Einzeldisziplinen. Vielmehr müssen diese in einer trans- oder multidisziplinären Organisationsform ihre jeweiligen Spezialkompetenzen zusammenführen, um zielführende Lösungsansätze erarbeiten zu können. Es ist somit nicht das Erkenntnisobjekt „Energie“, bzw. ein Teilbereich daraus, was eine Disziplin begründet: es ist die Fragestellung selbst.

Eine neue Disziplin begründet sich somit durch die Art und Weise, wie die wissenschaftliche Forschung mit ihr umgeht. Aus den Teildisziplinen der Ingenieur- und Naturwissenschaft und der Rechts-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaft, wie sie transdisziplinär in das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen eingebunden werden, soll so eine neue Disziplin entstehen, mit der das EFZN einen Beitrag zur Wiederherstellung des Ganzen in der Energieforschung leisten wird. Hier werden die verschiedenen Disziplinen räumlich zentriert durch kompetente Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen vertreten sein, die in gemeinsamen Projekten den fachübergreifenden Diskurs sicherstellen.

Eine in diesem Sinn verstandene Interdisziplinarität geht nicht zwischen den Fächern und Disziplinen hin und her (Multidisziplinarität). Vielmehr hebt sie Engführungen in der Wissenschaft auf, wie sie heute einer problemgerechten Forschungsstrategie im Wege stehen. Die so verstandene Interdisziplinarität führt, sofern sie auf Dauer angelegt ist, zu einem Prozess, der die fachlichen und disziplinären Orientierungen der Wissenschaft selbst verändern kann, und damit letztlich zu echter Transdisziplinarität.

Transdisziplinarität stellt damit eine Forschungsmethode und Arbeitsform der Wissenschaft zur Lösung lebensnaher Probleme dar, die sich einer einzelnen wissenschaftlichen Disziplin entziehen. Während wissenschaftliche Zusammenarbeit allgemein die Bereitschaft zur Kooperation und Interdisziplinarität auf Zeit bedeutet, ist mit Transdisziplinarität gemeint, dass die „gelebten Kooperationen“ zu einer gewollt andauernden, die disziplinären Felder verändernden Ordnung führen. So könnte z. B. aus den heutigen Energiewissenschaften, die das Zusammenwirken der geplanten wissenschaftlichen Arbeitsgruppen und Themenfelder zu nutzen wissen, in Zukunft eine Fakultät „Energiewissenschaft“ werden, deren Wissensspektrum und Lösungskompetenz der heutigen Problemlage besser entsprechen würde. Transdisziplinarität ist damit auch ein die Ordnung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes und der wissenschaftlichen Forschung selbst betreffendes Prinzip, das im EFZN verwirklicht und gepflegt werden soll.

Dieses Forschungsprinzip sollte immer dort wirksam werden, wo die fachliche Engführung nicht zur Problemdefinition und -lösung führen kann. Trans-

disziplinarität setzt vielmehr solide disziplinäre Forschung voraus. Sie ruht auf diesen „Pfeilern“ wie eine Brücke, die die Disziplinen miteinander verbindet.

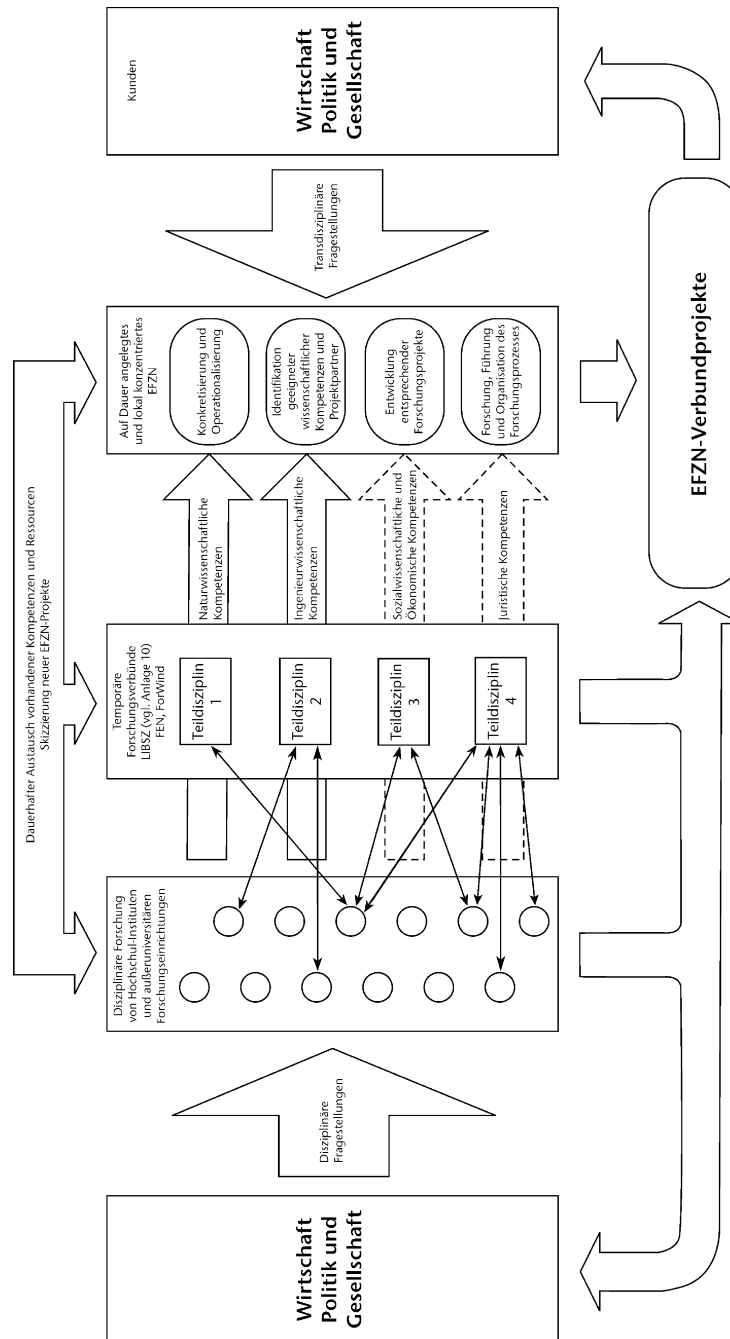
Was hier sehr abstrakt erscheint, hat seine konkreten Formen in der wissenschaftlichen Praxis längst gefunden. In neuen wissenschaftlichen Zentren werden bereits Fragestellungen behandelt, die nicht sinnvoll einem bestimmten Fach oder nur einer Disziplin zuzuordnen sind. Es geht um Strukturen bestimmter Größenordnungen, möglichst in einem Gebäude zusammengefasst, und nicht um disziplinäre Kompetenzen allein. Die disziplinäre Forschung bleibt eine wesentliche Voraussetzung für transdisziplinär definierte Aufgaben und Forschungsanträge, die im EFZN von professionellen Projektentwicklern auf Anregung von wissenschaftlichen Ideengebern zur Einwerbung von Drittmitteln erstellt werden müssen. Zudem soll das EFZN gegenüber potenziellen Auftraggebern aus der Praxis und weiteren Nachfragern von Forschungsergebnissen als System-Ansprechpartner und/oder -Forschungsstelle fungieren.

Gemeinsam mit diesen Partnern entwickelt das EFZN entsprechende Forschungsprojekte, die nach Bewilligung – unter Rückgriff auf die am EFZN und an den disziplinär orientierten (außer-)universitären Instituten vorhandenen Kompetenzen – bearbeitet werden. Die vorhandenen Rückwirkungen und Einflüsse zwischen den Inhalten der Teilprojekte können und werden durch die im EFZN organisierte Transdisziplinarität gebührend berücksichtigt, was der eingangs erwähnten fachlichen Partikularisierung weitgehend entgegen wirkt. Die Abbildung 1 soll diesen Zusammenhang verdeutlichen. Der linke Kreislauf betrifft die interdisziplinäre Arbeitsweise, meist auf Zeit im Rahmen von (disziplinären) Forschungsprojekten; der rechte Kreislauf symbolisiert die transdisziplinäre Arbeitsweise. Typisch ist die Zusammenführung von unterschiedlichen disziplinären Einrichtungen – hier im Feld der Energiewissenschaften – auf Dauer an einem Standort.

4. Grundlaststrom von der Nordsee – Ein Beispiel für praktizierte Transdisziplinarität

Die im vorangegangenen Abschnitt skizzierte transdisziplinäre Arbeitsweise wird, wie bereits dargelegt, zum derzeitigen Zeitpunkt insbesondere in neuen wissenschaftlichen Zentren praktiziert. Auch im Vorfeld der Errichtung des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen wurden bereits erste transdisziplinäre Forschungsvorhaben im Energiebereich bewilligt. Der folgende Abschnitt versucht, den wissenschaftlichen Mehrwert dieses Prinzips am Beispiel der vom Bundesumweltministerium finanzierten und von Forschern der Technischen Universität Clausthal erarbeiteten Machbarkeitsstudie „Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen – Grundlast von der Nordsee“ darzustellen.

Abb. 1: Positionierung des EFZN im Prozess der transdisziplinären Forschung.



Zur Realisierung der Klimaschutzschutzziele der Bundesregierung soll der Anteil der erneuerbaren Energien bezogen auf den Primärenergieverbrauch im Jahr 2020 mindestens 10% und im Jahr 2050 mindestens 50% betragen. Aufgrund des bislang realisierten hohen Ausbaustandes an Land wird die Offshore-Windstromerzeugung dabei einen stetig wachsenden Beitrag leisten müssen. Es ist erklärtes politisches Ziel, den Anteil der Windenergie an der Stromerzeugung von derzeit rund 5% auf mindestens 25% zu steigern. Hiervon sollen rund 15% auf die Offshore-Produktion entfallen, was eine Neuinstallation von 20.000 bis 25.000 MW Leistung in der deutschen Nord- und Ostsee bedeuten würde.³

Die Installation dieser Windparks stellt jedoch eine erhebliche technische Herausforderung für den Betrieb der vorhandenen Übertragungsnetze zur stetigen Garantierung der geforderten Netzstabilität und Versorgungssicherheit auch bei diesem erheblichen Zuwachs an fluktuierend einspeisenden Energiequellen dar. Auch wenn aufgrund des höheren Windangebots die durchschnittlichen Volllaststunden in der Nordsee mit einer Größenordnung von bis zu 4.500 Stunden über denen der Onshore-Produktion liegen, stellen auch diese Anlagen in der übrigen Zeit des Jahres keine elektrische Energie zur Verfügung. Das bedeutet zum einen, dass auch die Netzanbindung an Land durch Nichtauslastung hohe volkswirtschaftliche Lagerkosten verursacht; zum anderen müssen gleichzeitig auf dem Festland erhebliche Reserveerzeugungskapazitäten (sogenannte „Schattenkraftwerke“) vorgehalten werden, um in windschwachen Zeiten die niedrigere oder sogar vollständig ausfallende Offshore-Erzeugung ausgleichen zu können. Diese Reservekapazitäten verursachen jedoch zusätzliche Kosten und sind somit in einer Totalanalyse den Gestehungskosten der Windenergieanlagen vollständig zuzurechnen. Zur Reduktion dieser Kosten dürften daher vielfach konventionelle, fossil betriebene Kraftwerke zum Einsatz kommen. Die mittels der Windstromerzeugung eingesparten CO₂-Emissionen könnten hierdurch im pessimistischen Fall deutlich überkompensiert werden.

Um dem Problem stetig fluktuierender Einspeisungen für die Aufrechterhaltung der Netzqualität sowie der Notwendigkeit zur Vorhaltung von Schattenkraftwerken begegnen zu können, haben die Forscherinnen und Forscher der Technischen Universität Clausthal im Rahme der Studie ein Verbundkraftwerkskonzept entwickelt, mit dem die Stromerzeugung auf See verstetigt werden soll. Die Konzeption eines explizit grundlastfähigen Kraftwerks mag dabei nur bedingt als ökonomisch sinnvolle Lösung erscheinen, aus technischer Sicht ist sie allerdings die bei weitem anspruchsvollste Aufgabe.

³ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Erneuerbare Energie in Zahlen 2007, http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen.pdf und Ders. (2007): Entwicklung der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/offshore_wind_deployment_de_en.pdf.

Den grundlegenden Ansatz dieses Konzepts stellt die Nutzung unter dem Nordseeboden existierender sogenannter „Schwachgasvorkommen“ zur Stromerzeugung dar. Diese Erdgaslagerstätten zeichnen sich durch einen deutlich höheren Stickstoffanteil aus, weswegen sie aus Kostengründen bislang nicht von der Erdgasindustrie exploriert wurden. Aufgrund der Größe der Lagerstätten würde der Transport stickstoffhaltigen Erdgases die Leitungen volumemäßig zwar durchaus auslasten, allerdings entstehen wegen des geringeren wirtschaftlichen Werts des Stickstofftransports letztlich erheblich Lagerkosten durch die mangelnde Auslastung mit hochkalorigem Erdgas.

Das Clausthaler Anlagenkonzept sieht eine Integration der Offshore-Windstromerzeugung mit der Verstromung des niedrigkalorigen Erdgases auf See vor. Das hierzu notwendige Erdgaskraftwerk übernimmt damit die bereits skizzierte Funktion der Schattenkraftwerke an Land und ermöglicht so direkt am Entstehungsort fluktuierender Einspeisungen gleichmäßige Energielieferungen an Land, d. h. letztlich höhere Auslastungsgrade des Anschlusskabels mit verbundenen geringen Kosten. Mit der Offshore-Verstetigung der Energieproduktion werden gleichzeitig die Belastungen der Übertragungsnetze an Land deutlich reduziert.

Die beschriebene Kopplung der Wind- und Ergas-Stromerzeugung zum Ausgleich der Erzeugungsschwankungen ist jedoch mit erheblichen grundsätzlichen Problemen verbunden, die vor allem in der unterschiedlichen Dynamik beider Anlagenkonzepte liegen. So zeigen erste Ergebnisse der Machbarkeitsstudie, dass eine Multi-Megawatt Windkraftanlage innerhalb von 60 Sekunden seine vollständige elektrische Leistung erreichen bzw. innerhalb dieser Zeitspanne auch vollständig vom Netz gehen kann. Die Ergebnisse basieren dabei auf Messwerten der 45 Kilometer nördlich von Borkum errichteten Forschungsplattform FINO 1, die seit dem Jahr 2004 sekundengenaue Werte über die Windgeschwindigkeit in unterschiedlichen Höhen liefert. Demgegenüber benötigen konventionelle Gasturbinen zum vollständigen Heranfahren bis zu 300 Sekunden, weswegen ein Ausgleich der abfallenden Windstromproduktion im Millisekunden- und Sekundenbereich nicht möglich ist.

Durch den Einsatz unterschiedlich dimensionierter Erdgasturbinen mit entsprechend differenzierten Anfahrzeiten lässt sich das vorgenannte Problem z. T. schon deutlich entschärfen. So lässt sich durch einen entsprechend konfigurierten Gasturbinen-Park die Latenz der gesamten Erdgasanlage um bereits ca. 40-50% reduzieren. Doch auch bei diesem Ansatz gilt es zur Aufrechterhaltung der geforderten Grundlastfähigkeit des Kombikraftwerks ein Zeitfenster von bis zu 180 Sekunden zu überbrücken. Aus diesem Grund sieht das Clausthaler Konzept den zusätzlichen Einsatz von Druckluftspeichern mit entsprechend ausgelegten Druckluftturbinen vor, welche die abfallende Windstromproduktion bereits in Sekundenbereich kompensieren können. Zum Betrieb dieser Anlage werden unter dem Meeresboden entsprechende Kavernen ausgesolt, die eine

Speicherung von Druckluft in den hierfür notwendigen Dimensionen ermöglichen. Die Drucklufteinspeicherung erfolgt dabei in Zeiten eines Überangebots an Windenergie, dem zum entsprechenden Zeitpunkt keine Nachfrage am Land gegenübersteht. Dieser Überschussstrom wird mittels Druckluft gespeichert und kann zu einem späteren Zeitpunkt wieder zurückgewonnen werden. Mittels dieses Prinzips lassen sich u. U. die Nutzungsdauern der Windanlagen deutlich erhöhen, die ansonsten zwangsweise vom Netz getrennt werden müssten.

Die dargestellten Prinzipien für ein grundlastfähiges Offshore-Windkraftwerk münden somit in die Gesamtkonzeption eines Verbundkraftwerks auf See, das sich aus den Teilkomponenten Windanlage, Gasturbinen sowie Druckluft-turbinen und -kavernenspeichern zusammensetzt. Eine schematische Darstellung dieses Anlagenkonzepts gibt die Abbildung 2.

Das Schaubild macht bereits deutlich, dass neben der Entwicklung und Auslegung der einzelnen Anlagenkomponenten insbesondere die technischen Schnittstellen der einzelnen Aggregate sowie die optimale Betriebsführung des Gesamtsystems und damit dessen stetige Regelung eine nicht-triviale Forschungsaufgabe darstellen. Darüber hinaus fordern auch die einzelnen technischen Teilsysteme eine ständige Abstimmung und Bearbeitung durch verschiedene fachliche Disziplinen.

Im konkreten Beispiel erfolgte die Erstellung des vorliegenden Kraftwerkstyps durch einen Verbund von sechs Instituten an der TU Clausthal, die in diesem Projekt die zukünftige Arbeitsweise des EFZN als Koordinationsplattform erprobten. Mit der Bearbeitung der vorliegenden Fragestellungen waren Expertinnen und Experten der Institute Aufbereitung und Deponietechnik, Erdöl-Erdgastechnik, Elektrische Energietechnik, Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik, Maschinenwesen und – für eine ökonomische Gesamtanalyse der resultierenden betriebs- und volkswirtschaftlichen Kosten – des Instituts für Wirtschaftswissenschaft befasst.

Die hohe Komplexität des Vorhabens, aber insbesondere auch die während der einjährigen Projektlaufzeit gemachten Erfahrungen ließen bereits sehen, welchen erheblichen Einfluss die gemeinsame Bearbeitung mit regelmäßigen gemeinsamen Arbeitssitzungen und zahlreichen bilateralen Abstimmungen der Projektpartner unterschiedlicher Disziplinen auf den erfolgreichen Abschluss des Vorhabens hatte. Anhand bisheriger Erfahrungen der Beteiligten in vergleichbaren Vorhaben, die eher den Charakter überregional verteilter Netzwerkaktivitäten hatten, zeigte sich hier die erhebliche Bedeutung einer stets koordinierten und insbesondere lokal konzentrierten Zusammenarbeit der beteiligten Personen.

Genau dieser Ansatz des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen ist es, vergleichbare komplexe technische und damit verbundene rechtliche, ökonomische und ggf. auch sozialwissenschaftliche Fragestellungen durch einen loka-

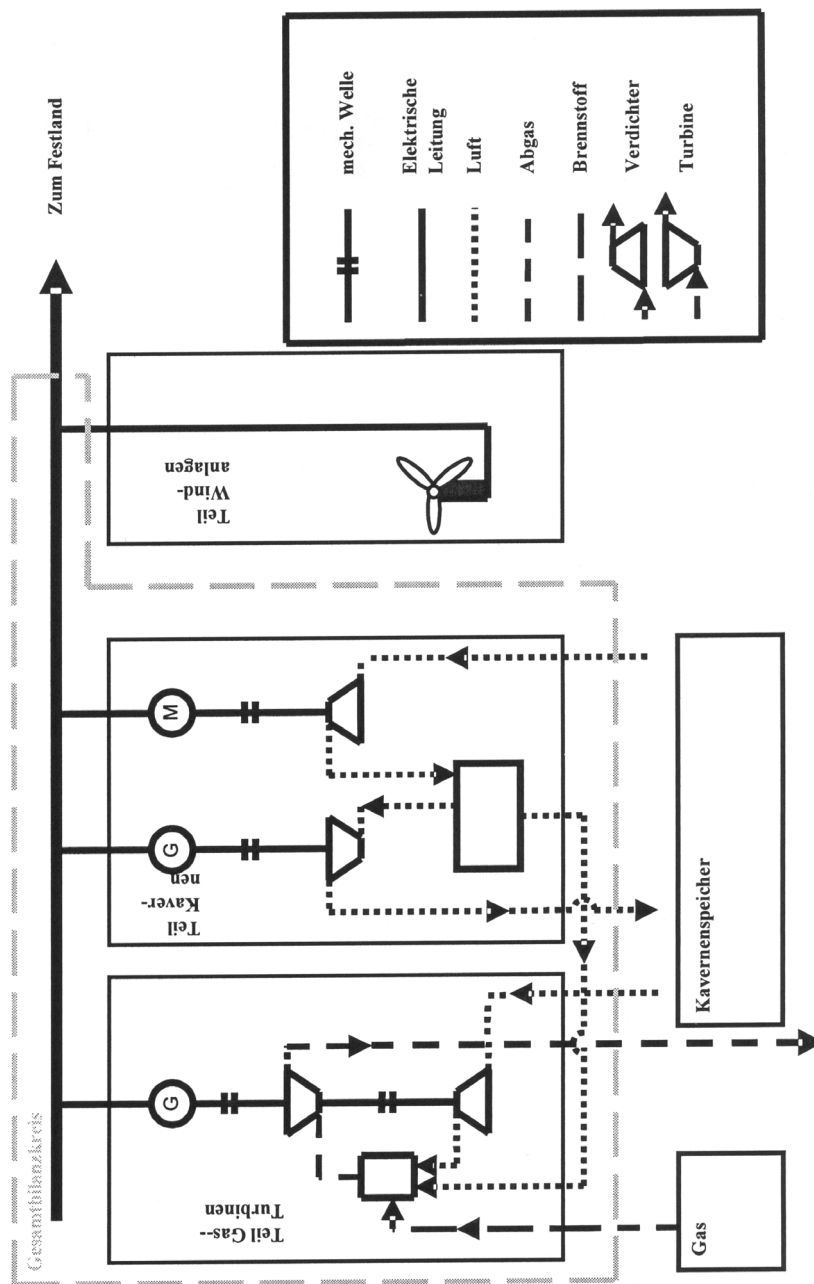


Abb. 2: Schematische Darstellung des Verbundkraftwerks.

len Verbund der hierzu notwendigen Kompetenzen anzugehen und entsprechende systemische Lösungen zu erarbeiten. Hierdurch lassen sich die eingangs aufgezeigten Defizite immer mehr zersplitterter, nebeneinander operierender Wissenschaftsdisziplinen wirksam beheben, um anwendungsnahe wissenschaftliche Ergebnisse generieren zu können.

5. Fazit und Ausblick

Es lässt sich zweifelsohne anerkennend festhalten, dass die spätestens in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts immer weiter vorangeschrittene Aufsplitterung des Wissenschaftssystems mit seinen einzelnen Teil- und Spezialdisziplinen der Menschheit insgesamt einen erheblichen Wissensfortschritt auf allen Gebieten beschert hat. Zahlreiche wissenschaftliche Erkenntnisse hätten niemals generiert werden können, wenn sich weltweit Forscherinnen und Forscher nicht einzelner Spezialfragen angenommen und sie immer gründlicher und detaillierter erforscht hätten. Es ist eben genau diese Spezialisierung im Sinne der wissenschaftlichen Arbeitsteilung, durch die fundamentaler Erkenntnisfortschritt in der Vergangenheit überhaupt erst ermöglicht werden konnte.

Doch vor dem Hintergrund immer komplexerer Fragen, die sich dem Wissenschaftssystem als Ganzem (!) stellen, drohen diese sich immer deutlicher herauskristallisierenden Grenzen der einzelnen Wissenschaften letztlich zu Erkenntnisgrenzen der gesamten Wissenschaft zu werden. Um es bildlich darzustellen: Jede Disziplin schürft immer tiefer im Berg nach neuen Erkenntnissen, Forschergruppen teilen sich auf, um selbstständig neue Wege im Berg zu finden und zu erproben. Doch sie übersehen oder vergessen dabei oft genug den notwendigen und höher gelegenen Verbindungsstollen, in dem sie ihre Erkenntnisse austauschen können. So notwendig das Tiefschürfen im Berg auch ist: erst durch den Austausch auf den oberen Ebenen lassen sich die einzelnen Erkenntnisse im Sinn des aristotelischen Prinzips „das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ zu neuem Wissen zusammenführen.

Übertragen aus das Wissenschaftssystem im allgemeinen bedeutet dies, dass die disziplinäre Forschungstätigkeit und die damit gewonnenen Erkenntnisse das zwingend notwendige Fundament sind, auf dem disziplinübergreifende Fragestellungen im Rahmen von Verbundprojekten überhaupt erst bearbeitet werden können. Die Disziplinen stellen quasi die Pfeiler dar, auf denen die transdisziplinäre Brücke ruht.

Auf dem Gebiet der Energieforschung ist es Anspruch und erklärtes Ziel des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen, die vorhandenen diesbezüglichen Kompetenzen strategisch und dauerhaft an einem Ort zusammenzuführen und weiterzuentwickeln, um so letztlich die komplexen Fragen eines zukunftsfähigen Energiesystems mittels einer transdisziplinären Energiewissenschaft

bearbeiten zu können. Parallel dazu gilt es jedoch auch in Zukunft, die weitere Ausdifferenzierung und Spezialisierung aller Wissenschaftsbereiche zu fördern, da nur auf diesem Wege neue Spezialkenntnisse generiert werden können, die im Anschluss gegebenenfalls auch für transdisziplinäre Arbeiten von unabsehbarem Nutzen sein könnten.

Transdisziplinarität ist darum keineswegs als konkurrierendes Arbeits- und Organisationsprinzip der Wissenschaft zu verstehen. Es ist vielmehr ein komplementäres Prinzip, das immer dann sinnvoll und sachgerecht zur Anwendung kommen sollte, wenn das disziplinäre Instrumentarium nicht mehr adäquat greifen kann.

BepiColombo - Zur Genese eines Weltraumprojektes*

KARL-HEINZ GLAßMEIER

Technische Universität Braunschweig
Mendelssohnstraße 2-3, D-38106 Braunschweig

Reisen in den Weltraum sind nicht nur weite Reisen, sondern fordern auch Zeit. Für den Sommer 2013 planen die europäische Weltraumagentur ESA und ihr japanischer Partner JAXA den Start zweier Satelliten, die sechs Jahre später in eine Umlaufbahn um den Planeten Merkur einschwenken sollen, um dort mindestens zwei Jahre den der Sonne nächsten Planeten unseres Sonnensystems wissenschaftlich zu erkunden. Die ersten Planungen für dieses Projekt gehen auf Überlegungen Mitte der achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts zurück. Wenn also die BepiColombo-Raumschiffe 2021 ihre Mission erfüllt haben, dann sind mehr als 30 Jahre vergangen, während derer sich die europäische Wissenschaftsgemeinde mit der Planung und Realisierung einer Merkurmission beschäftigt hat. Die BepiColombo-Mission ist somit ein Beispiel wissenschaftlicher Großforschung, für das nicht nur politische und finanzielle, wissenschaftliche und technische Probleme zu lösen waren, sondern für das auch über mindestens eine Wissenschaftlergeneration hinweg Kontinuität in der Projektentwicklung zu fordern ist.

Der Planet Merkur

Diese kurze Abhandlung soll ein Beitrag sein zur Darstellung der Genese des BepiColombo-Projektes, seiner wissenschaftlichen Ziele und Durchführung. Zuvor gilt es jedoch, das „Objekt der Begierde“, den Planeten Merkur kurz vorzustellen. Mit einem Radius von 2439 km ist Merkur etwa halb so groß wie unsere Erde. Er umläuft auf einer stark elliptischen Bahn die Sonne mit einem Perihel von 0.31 AE (1 astronomische Einheit = 1 AE = 149597 km) und einem Aphel von 0.47 AE. Die siderische Umlaufperiode beträgt 87.96 Erdtage und die Eigenrotationsrate 58.64 Erdtage: Merkur befindet sich in einer so genannten 2/3 Resonanz, d.h. der Planet dreht sich dreimal um sich selber während er zweimal die Sonne umläuft. Diese resonante Kopplung zwischen Eigendrehung

* Kurzfassung des am 12.10.2007 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

und Bahndrehung wurde erstmals von dem italienischen Astrophysiker Giuseppe Colombo (1920-1984) genauer untersucht, weshalb die ESA ihre Merkurmission ihm zu Ehren BepiColombo nannte.

Eine weitere Auffälligkeit Merkurs ist seine große Massendichte, 5.42 g/cm^3 ; der terrestrische Wert liegt bei 5.5 g/cm^3 . Nimmt man einen Stein in die Hand, z.B. einen Brockengranit, so hat dieser eine Dichte von etwa 2.8 g/cm^3 . Die deutliche Diskrepanz zwischen Oberflächendichte und mittlerer Dichte deutet auf die Existenz eines schweren, eisenhaltigen Kerns hin. Theoretische Überlegungen berechtigen zu der Vermutung, auch der Merkur habe einen solchen Planetenkern. Er weist nach heutigem Wissen einen Radius von 1860 km auf, ist im Verhältnis zum Radius des ganzen Planeten deutlich größer als der Erdkern. Die Ursache hierfür ist nicht bekannt.

Aufgrund seines geringen Durchmessers ist Merkur ein Leichtgewicht unter den Planeten und bringt es nur auf etwa 5% der Masse der Erde. Das Schwerfeld ist daher entsprechend schwach und die Schwerkraft an der Oberfläche beträgt nur 2.78 m/s^2 . Das Fehlen einer signifikanten Atmosphäre wundert daher nicht, denn atmosphärische Gase können gravitativ nicht an den Planeten gebunden werden. In dieser Hinsicht gleicht Merkur dem Erdmond und entsprechend ist auch die Oberfläche Merkurs durch eine Vielzahl von Einschlagskratern charakterisiert, da die Oberfläche einerseits nicht durch eine Atmosphäre vor dem kosmischen Bombardement geschützt ist und andererseits kaum Verwitterungsprozesse stattfinden, die Oberflächenstrukturen verändern. Die starke Bekraterung muss aber auch als Hinweise auf das Fehlen von der terrestrischen Plattentektonik vergleichbaren Prozessen im Inneren des Planeten gedeutet werden.

Als im 1974/1975 Merkur erstmalig von einem Raumschiff, der NASA Sonde Mariner 10, besucht wurde, war die Entdeckung eines planetaren Magnetfeldes eine große Überraschung, wenn nicht eine wissenschaftliche Sensation (NESS u.a., 1974). Aufgrund der geringen Größe und der kleinen Rotationsrate ging man damals vielfach davon aus, Merkur sei in seinem Inneren wegen der großen Wärmeverluste erkaltet und könne auch keinen Dynamoprozess unterstützen. Um einen solchen Prozess zu ermöglichen, benötigt man im Planeten einen möglichst großen Bereich, in dem elektrisch leitfähiges Material sich rasch bewegen kann. Vorteilhaft sind weiterhin eine differentielle Rotation und bedeutsame Corioliskräfte. All diese Bedingungen schien Merkur nicht erfüllen zu können. Der amerikanische Weltraumpionier Norman Ness, in den sechziger Jahren am Aufbau der Weltraumphysik an der Technischen Universität Braunschweig beteiligt, setzte jedoch den Primat des Experimentes vor den der Theorie und erwirkte den Einsatz eines Magnetometers auf der Mariner 10 Sonde.

Mit etwa 340 nT ist das Feld Merkurs am dortigen Äquator jedoch sehr schwach, hundert Mal kleiner als das terrestrische Feld. Allerdings ist es doch stark ge-

nug, eine klassische Magnetosphäre aufzubauen. Als Magnetosphäre bezeichnet man die Wechselwirkungsregion zwischen dem Sonnenwind und einem Planeten. Könnte man eine solche Magnetosphäre sehen, sähe sie wie ein Kometenschweif aus. Auf der Tagseite wird das planetare Magnetfeld gestaucht, auf der Nachtseite weit in den interplanetaren Raum hinausgezogen. Die Grenze zwischen Magnetosphäre und dem Sonnenwindplasma bildet die Magnetopause. In ihre fließen im Falle Merkurs elektrische Ströme mit einer Stärke von etwa 10^6 A (GLAßMEIER u.a., 2007). Der Abstand der Magnetopause zur Oberfläche Merkurs ist sehr variabel und beträgt im Mittel nur 1700 km, nur ein Vierzigstel des terrestrischen Wertes. Hin und wieder kann es auch vorkommen, dass die Magnetopause die Planetenoberfläche erreicht. Dann ist Merkur dem Wirken des zwar sehr dünnen, aber heißen Plasmas des Sonnenwindes ausgesetzt, da die schützende Atmosphäre fehlt.

Die BepiColombo Mission

Wissenschaftliches Ziel der BepiColombo Mission (BALOGH u.a., 2007) ist die Erforschung der inneren Struktur und Dynamik Merkurs, seiner stofflichen Zusammensetzung, der Geologie der Oberfläche und der Wechselwirkung mit dem interplanetaren Medium nahe der Sonne. In welcher Weise dieser sonnennächste Planet entstanden ist und wie er sich entwickelt hat, das ist eine der drängenden Fragen der Planetenforschung. Aus diesem Grunde hat die ESA 1998 beschlossen, gemeinsam mit der japanischen Raumfahrtagentur JAXA zwei Satelliten in elliptische Umlaufbahnen um Merkur zu bringen und dort umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen anzustellen. Der japanische Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) hat als primäres Ziel die Erforschung der Magnetosphäre Merkurs und soll auf eine polare Umlaufbahn mit einem Perihelium von 400 km Höhe und einem Apohelium von 12000 km Höhe gebracht werden. MMO ist mit Messinstrumenten z.B. zur Bestimmung des Magnetfeldes Merkurs und der Eigenschaften des Plasmas und des Neutralgases in seiner Umgebung ausgestattet. Der europäische Mercury Planetary Orbiter (MPO) trägt ebenfalls eine Vielzahl von Instrumenten, diverse Kameras, die es erlauben, die Oberfläche Merkurs in verschiedenen Spektralbereichen und mit unterschiedlicher Auflösung zu photographieren, ein Laser Altimeter zur Vermessung der Oberflächentopologie, ein Magnetometer und ein Instrument zur Bestimmung des Schwerfeldes Merkurs. MPO wird ebenfalls auf eine polare Umlaufbahn gebracht; Perihelium bzw. Apohelium werden in einer Höhe von 400 bzw. 1500 km sein.

Eines der größten technischen Probleme des BepiColombo Projektes sind die sehr rauen Umfeldbedingungen nahe der Sonne. Tagseitig herrschen auf der Merkuroberfläche Temperaturen von über 400°C ; nachtseitig sinken sie auf -173°C ab. Die solare Energieeinstrahlung ist etwa zehnmal größer als nahe der

Erde. Auf der sonnenzugewandten Seite sind die Raumfahrzeuge daher mit Hitzeschilden ausgestattet. Umfangreiche thermische Studien für die Sonden, aber auch für die einzelnen Instrumente werden durchgeführt, um ein Instrumentendesign zu finden, dass es auch erlaubt, die aufgenommene Strahlungsenergie auf der sonnenabgewandten Seite wieder in den Wellraum abzugeben. Beide Sonden sollen im Sommer 2013 von Kourou aus gestartet werden und nach sechs Jahren Flugzeit Merkur erreichen. Die nominale Missionsdauer wird zwei Jahre betragen.

ESA und der Weg zu BepiColombo

Die europäische Weltraumagentur ESA wurde 1975 als unabhängige Organisation mit zurzeit 17 Mitgliedsstaaten, darunter die Bundesrepublik Deutschland, gegründet. Sie wird von einem zehnköpfigen Direktorium unter dem Vorsitz eines Director General geleitet. Die einzelnen Direktorate sind für Bereiche wie Startbetrieb, Bemannter Raumflug, Erdbeobachtung oder Wissenschaft zuständig. Oberstes Aufsichtsgremium ist die Konferenz der Wissenschaftsminister der Mitgliedsländer. Als weitere Aufsichtsgremien agieren fünf zusätzliche Kommissionen, darunter das für die Planung der wissenschaftlichen Missionen zuständige Science Programme Committee (SPC), dem Vertreter der Wissenschaft und der nationalen Raumfahrtagenturen angehören. Dem SPC arbeitet das Space Science Advisory Committee (SSAC) zu, dem Wissenschaftler aus den Mitgliedsländern angehören. Die SSAC Mitglieder werden nach Konsultation der nationalen Agenturen und der *scientific community* von der ESA berufen. Um die unterschiedlichen wissenschaftlichen Interessen in den Bereichen Astronomie und Astrophysik, Erforschung der Sonne und des Sonnensystems sowie Grundlagen der Physik berücksichtigen zu können, wird die ESA und ihr *Director of Science* durch die Solar System Working Group (SSWG), die Astronomy Working Group (AWG) und die Fundamental Science Working Group (FSWG) beraten. Diesen Arbeitsgruppen gehören ausschließlich Wissenschaftler an, die für drei Jahre von der ESA berufen werden; die Leitung der Arbeitsgruppen obliegt ebenfalls einem Wissenschaftler. Auch wenn letztendlich Entscheidungen beim *Director of Science* liegen, spielen die Arbeitsgruppen eine sehr große Rolle bei der Planung der wissenschaftlichen Aktivitäten der ESA und gewährleisten ein hohes Maß demokratischer Kontrolle.

Das Hauptquartier der ESA ist in Paris, weitere Standorte sind Noordwijk (Technologiezentrum), Darmstadt (Operationszentrum für die Missionen), Frascati (Zentrum für die Erdbeobachtung), Villafranca (Astronomiezentrum), Köln (Europäisches Astronautenkorps) und Kourou (Weltraumbahnhof). Die wissenschaftlichen Aktivitäten der ESA sind wesentlich durch die Langzeitprogramme *Horizon 2000+* und *Cosmic Vision 2020* geprägt. Das Horizon 2000 Programm

wurde nach umfangreichen Konsultationen mit der *scientific community* 1984 ins Leben gerufen. Es sieht als Eckpfeiler mehrere große Weltraummissionen, *cornerstones*, vor, zu denen unter anderen die Kometenmission Rosetta, die Soho/Cluster-Mission zur Erforschung der Sonne und der Erdmagnetosphäre und die BepiColombo-Mission gehören. An allen drei genannten Missionen ist die Technische Universität Braunschweig in größerem Maße beteiligt. Die Gesamtkosten eines *cornerstones* liegen bei etwa 700 Millionen €. Zusätzlich zu diesen Eckpfeilern sind im Rahmen von *Horizon 2000+* noch weitere mittlere Missionen durchgeführt worden bzw. werden gerade durchgeführt. Diese M-Missionen haben ein deutlich kleineres Finanzvolumen.

Am Anfang der Planung eines Programms wie *Horizon 2000+* und seiner Missionselemente steht für gewöhnlich ein *Call for Ideas*, in dem die ESA die *scientific community* auffordert, Ideen für neue Weltraumprojekte vorzulegen. Auf einen solchen Aufruf gehen dann 40-50 Vorschläge unterschiedlichster Art ein. Ein sehr detaillierter Vorschlag für eine Merkurmission, an dem auch der Verfasser beteiligt war, wurde der ESA in diesem Rahmen bereits 1986 gemacht. Aus den eingegangenen Vorschlägen sucht dann ein internationales Gutachterkomitee gemeinsam mit den Beratungsgremien der ESA diejenigen Projekte aus, die in einer so genannten *Assessment-Studie* auf ihre technische und finanzielle Machbarkeit hin genauer untersucht werden. Für gewöhnlich sind mehrere vorgeschlagene Mission machbar, so dass in einem weiteren Begutachtungsprozess geklärt werden muss, welche der diskutierten Missionen, ob und in welchem Programmentelement realisiert werden kann. So stand z.B. die Soho/Cluster-Mission 1985 in deutlicher Konkurrenz zur ebenfalls vorgeschlagenen Kepler-Mission zur Untersuchung der Atmosphäre unseres Nachbarplaneten Mars.

1993 erfolgte ein weiterer Vorstoß, eine europäische Merkurmission zu realisieren. Für eine der mittleren Missionen des *Horizon 2000+* Programms, die M3-Mission, wurde von einer Gruppe europäischer Planetologen wieder eine Mission zu dem sonnennächsten Planeten ins Gespräch gebracht. Eine detaillierte *Assessment-Studie* machte jedoch deutlich, dass in dem möglichen finanziellen Rahmen einer M-Mission ein Merkurprojekt nicht machbar war, sondern nur im Rahmen eines *Cornerstones* zu verwirklichen ist. Alle Anstrengungen konzentrierten sich in den Folgejahren auf den 5. *Cornerstone* des ESA-Programms. Mehre internationale Workshops wurden organisiert, um die sehr hohe wissenschaftliche Bedeutung einer Merkurmission herauszuarbeiten und den Beratungsgremien der ESA nahe zu bringen. Treibende Kraft dieser Aktivitäten war der britische Weltraumforscher Andre Balogh von Imperial College. 2000 war es dann soweit – die ESA beschloss eine Merkurmission als 5. *Cornerstone* in ihr *Horizon 2000+* Programm aufzunehmen. Die vorgeschlagenen Mission sollte drei Elemente beinhalten: einen Orbiter zur Untersuchung der Magnetosphäre, einen planetaren Orbiter und ein *Mercury Surface Element*, eine Landegerät zur in-situ Untersuchung der Oberfläche Merkurs.

Für alle drei Missionselemente hatten die Beratungsgremien eine Modellnutzlast vorgeschlagen, d.h. genaue Vorstellungen erarbeitet, welche wissenschaftlichen Experimente die drei Raumschiffe tragen sollten. Weitere politische Konsultationen folgten und zeitweise wurde die BepiColombo Mission wieder in Frage gestellt. Auf einem Treffen der Wissenschaftsminister der ESA-Mitgliedsstaaten im Mai 2002 wurde dann endlich die letzte Weiche gestellt und BepiColombo als Mission in das neue ESA-Programm Cosmic Vision 2020 aufgenommen. Im Sommer 2003 erfolgte dann das *Announcement of Opportunity*, die internationale Ausschreibung für die wissenschaftlichen Experimente. BepiColombo hatte aber Federn lassen müssen, denn das *Mercury Surface Element* war aus technischen und finanziellen Gründen wieder aus dem Programm genommen worden.

BepiColombos Magnetfeldexperiment

Weltraumexperimente erfordern einen hohen finanziellen Aufwand. Als Faustregel liegen die Kosten bei etwa 4 Millionen € pro Kilogramm Nutzlast. Mit allen Komponenten, Sensor, Leistungsversorgung und Bordrechner, muss für ein modernes Magnetometerexperiment mit einer Masse von 1500 g gerechnet werden. Die erforderlichen Geldmittel lassen sich daher nicht ohne weiteres von einer Experimentatorengruppe aufbringen. Deshalb werden in der Regel internationale Konsortien gebildet, die sich die erforderlichen Entwicklungs- und Fertigungsarbeiten und deren Finanzierung teilen. Ein solches Konsortium wird von einem *Principal Investigator* geleitet. Für die BepiColombo Mission bildeten bereits 1998 das Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik der Technischen Universität Braunschweig, das Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Graz und das Space and Atmospheric Physics Laboratory des Imperial College in London das MERMAG Konsortium. Innerhalb dieses Konsortiums sollten Andre Balogh vom Imperial College und Wolfgang Baumjohann aus Graz die Leitung der Experimentgruppen für die Magnetometerexperimente auf dem planetaren Orbiter bzw. dem magnetosphärischen Orbiter übernehmen. Für das Magnetometerexperiment des *Mercury Surface Element* sollte zunächst der Verfasser die Rolle des Principal Investigator übernehmen, eine Rolle die dann aber obsolet wurde, da dieses Missionselement gestrichen worden war.

Das MERMAG Konsortium lieferte termingerecht zum Februar 2004 seinen Experimentvorschlag ab. Ein solcher Vorschlag ist sehr umfangreich, umfasste im Falle BepiColombos etwa 1000 Seiten und beschreibt äußerst detailliert das vorgeschlagene Experiment. Anders als z.B. für die Vorbereitung eines Antrages für einen Sonderforschungsbereich an die Deutsche Forschungsgemeinschaft gibt es seitens der Technischen Universität Braunschweig oder des Landes Niedersachsen keine Sondermittel für die Erarbeitung eines solchen Antrages. Der

Bewerbung vorausgegangen war eine intensive Begutachtung der jeweiligen nationalen Beistellungen durch ihre nationalen Geldgeber, in Deutschland dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Bonn. Denn Voraussetzung der Bewerbung war eine Absichtserklärung der zuständigen nationalen Agentur, im Falle einer Auswahl gegebenenfalls die Finanzierung zu übernehmen.

Zwei weitere Konsortien hatten sich unter französischer und dänischer Leitung gebildet und schlugen ebenfalls für die Magnetometerexperimente auf den MPO und MMO Satelliten vor. Alle eingegangenen Experimentvorschläge wurden einer internationalen Begutachtung zugeführt. Die Experimentauswahl erfolgte im Januar 2005. Den Zuschlag erhielt das MERMAG Konsortium. Allerdings regte sich Protest. Über ihren Repräsentanten im Science Programme Committee der ESA meldete die dänische Regierung Bedenken gegen die Auswahlentscheidung des ESA Gutachtergremiums an, ein pikanter Protest, waren doch der vorschlagende *Principal Investigator* und der dänische Vertreter im SPC ein und dieselbe Person.

Die Kritik richtete sich vor allem gegen das vom MERMAG Konsortium vorgeschlagene Konzept der Magnetischen Reinheit. Magnetfeldmessungen im Welt- raum werden stark durch magnetische Materialien an Bord der Raumsonde oder elektrische Ströme dort beeinflusst. Daher werden Magnetometersensoren in der Regel auf langen Auslegern montiert, um den erforderlichen Abstand zu den Störquellen zu haben. Solche Ausleger sind aber technisch nicht unproblematisch und ihre Länge häufig begrenzt. Bereits im Rahmen der Giotto Mission zum Kometen P/Halley hatte die braunschweigische Gruppe gezeigt, dass auch mit sehr kurzem Ausleger Methoden entwickelt werden können, um eine ausreichende Magnetische Reinheit zu gewährleisten. Sehr erfolgreich werden diese Methoden z.B. bei der zurzeit laufenden VenusExpress Mission oder dem Rosetta Lander Magnetometer von Hans-Ulrich Auster verwendet (AUSTER u.a., 2007). Aufgrund des Protestes musste das MERMAG Konsortium im März 2005 unter Offenlegung vieler technischer Details das eigene Konzept in Noordwijk den konkurrierenden Konsortien präsentieren und verteidigen. Im Ergebnis bestätigte die ESA ihre Auswahl nach dieser Präsentation.

Im Mai 2005 zog die britische Raumfahrtagentur ihre zunächst erteilte Bereitschaft zur Finanzierung des *Principal Investigator* Teams um Andre Balogh vom Imperial College zurück. Da das Team der Technischen Universität Braunschweig ohnehin wesentliche Arbeitspakete für die beiden Magnetometerexperimente auf MPO und MMO übernommen hatte, beschloss das MERMAG Konsortium dem Verfasser die Aufgabe des *Principal Investigator* für das MPO Experiment zur übertragen. Dieser Entscheidung gingen jedoch Konsultationen mit dem DLR Bonn voraus, das sich bereit zeigte, die zusätzlichen Kosten zu übernehmen. Ein formaler und umfassender Antrag zur Finanzierung des

MPO Magnetometerexperiment wurde im Juli 2005 an das DLR gestellt und nach weiterer Begutachtung die Finanzierungszusage im Dezember 2005 erteilt.

Die experimentellen Arbeiten konnten begonnen werden. Die Aufgabe des Instrumentmanagers wurde Gerhard Berghofer vom Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Graz übertragen. Und Hans-Ulrich Auster von der Technischen Universität Braunschweig leitet seither die technische Entwicklung des MPO-Magnetometers als Chefingenieur. Die intensive Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe in Graz basiert auf während der Weltraummissionen Rosetta und VenusExpress gesammelten Erfahrungen. Im Vordergrund standen zunächst Fragen des Thermalhaushaltes des Magnetometersensors. Es gilt, die Sensortemperatur während aller Missionsphasen weitestgehend stabil zu halten. Dies erfordert umfangreiche Modellrechnungen zur solaren Insolation, der Rückstrahlung der extrem heißen Planetenoberfläche im Infraroten, der Abstrahlung auf der der Sonne abgewandten Seite des Sensors und des Thermalverhaltens während der Eklipsen, d.h. der Schattendurchgänge des Satelliten. Aufgrund dieser Modellrechnungen sieht das gegenwärtige Thermalkonzept vor, den Magnetometersensor im Temperaturbereich von etwa 180°-200° C zu betreiben. Mittlerweile wurde das Thermaldesign auch in der Weltraumkammer des Institute of Space and Astronautical Science der japanischen Weltraumagentur JAXA in Tokio ausgiebig getestet. Ein wissenschaftliches Experiment bei derart extremen Bedingungen zu operieren, bringt eine Reihe weiterer Probleme mit sich. So müssen geeignete Klebstoffe gefunden werden, die die erforderliche Haftung auch bei hohen Temperaturen gewährleisten, nicht ausgasen und dadurch andere Experimente stören und von der ESA als weltraumtauglich zertifiziert sind.

Im März 2006 trat unverhofft ein weiteres politisches Problem auf, als diesmal die französische Weltraumagentur CNES gegen die bereits vor Monaten erfolgte Experimentauswahl protestierte und eine erneute Begutachtung des Experimentvorschlages aus Braunschweig verlangte. Wieder waren Fragen zur Magnetischen Reinheit und der Länge des Experimentauslegers Ausgangspunkt des Protestes. In einer eilig anberaumten Sitzung mit hochrangigen Vertretern der ESA, der CNES und Wissenschaftlern aus Braunschweig konnten alle Bedenken der CNES ausgeräumt werden. Seither laufen die Entwicklungsarbeiten ungestört auf Hochtouren. In regelmäßigen Abständen muss sich das Team einer intensiven technischen Begutachtung der Projektingenieure der ESA stellen und zweimal im Jahr dem gesamten BepiColombo Wissenschaftlerteam über die Fortschritte berichten. Eine erste Veröffentlichung über den technischen Stand des MPO Fluxgate Magnetometerexperimentes mit weiteren Details zum Instrumentdesign wird demnächst erscheinen (GLAßMEIER u.a., 2008).

Merkur – Ein rückgekoppelter Dynamo?

Während der langen Jahre der Experimententwicklung gibt es auch ausreichende Möglichkeiten, die zukünftige Datenauswertung vorzubereiten und theoretische Studien zu betreiben. Eines der interessantesten Probleme ist dabei die Frage des Merkurdynamos selber. Hatte man noch Mitte der 60er Jahre gedacht, dass im Inneren Merkurs kein Dynamoprozess ablaufen kann, legen heutige numerische Simulationen nahe, dass das dann tatsächlich beobachtete Feld um etwa einen Faktor 30 zu klein ist. Theoretisch sollte man in der Äquatorregion eine magnetische Flussdichte von 11000 nT erwarten, nicht 340 nT. Wie lässt sich dies erklären? Welche besondere Eigenschaft besitzt der Merkurdynamo?

Die physikalische Grundgleichung zur Erklärung des Dynamoprozesses ist die Induktionsgleichung

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \nabla \times (\vec{u} \times \vec{B}) + \eta \Delta \vec{B}.$$

Hier bezeichnen \vec{B} und \vec{u} die magnetische Induktion und die Strömungsgeschwindigkeit in einem elektrisch leitfähigen Medium, z.B. dem planetaren Kern; $\eta = 1 / \mu_0 \sigma$ ist die magnetische Diffusivität, σ die elektrische Leitfähigkeit des Mediums und μ_0 die Permeabilität des Vakuums. Der Term auf der linken Seite der Gleichung beschreibt die zeitliche Veränderung der magnetischen Induktion. Dieser Term sollte positiv sein, da es gilt, ein Saatfeld durch den Dynamoprozess zu verstärken. Der erste Term auf der rechten Seite ist der eigentliche Dynamoterm. Die Wechselwirkung zwischen dem strömenden Medium und der magnetischen Induktion führt zu einer lokalen Verstärkung des Feldes, die allerdings von der jeweiligen Feldstärke wieder abhängt. Der zweite Term arbeitet der Felderzeugung entgegen. Ein lokal erzeugtes Feld hat das Bestreben in seine Umgebung zu diffundieren, gleich einem Tintenkleck im Wasserglas. Die Effizienz dieser magnetischen Diffusion hängt von der elektrischen Leitfähigkeit ab. Ist diese sehr groß, dann kann die Diffusion vernachlässigt werden. Ein Dynamo kann daher effektiv nur in einem rasch strömenden Medium mit hoher elektrischer Leitfähigkeit stattfinden.

Verschiedene Vorschläge sind in den vergangenen Jahren gemacht worden, um das schwache Feld Merkurs zu erklären. CHRISTENSEN (2006) schlägt einen Dynamo vor, indem nur die innersten Schichten des Kerns an den Konvektionsprozessen beteiligt sind. Dies hat u.a. zur Folge, dass kleinräumige Strukturen des erzeugten Feldes, die höheren Multipolanteile, stärker zur Oberfläche hin abnehmen und nur noch die Dipol- und Quadrupolanteile messbar- und von Bedeutung sind.

Einen ganz anderen Ansatz verfolgen GLAßMEIER u.a. (2007). Wie eingangs erwähnt, fließen in der Grenzfläche zwischen dem Sonnenwind und der Magne-

tosphäre, der Magnetopause, starke elektrische Ströme. Im terrestrischen Fall erzeugen diese an der Planetenoberfläche ein Magnetfeld der Größenordnung 10 nT, vernachlässigbar im Vergleich zu den 30000 nT des dynamoerzeugten Feldes. Ganz anders bei Merkur: dem Dynamofeld von 340 nT steht ein durch Magnetopausenströme erzeugtes und nicht vernachlässigbares Feld von 50-60 nT gegenüber. Es muss also die Frage gestellt werden, welchen Einfluss dieses externe Feld auf den Dynamoprozess selber hat. In der Induktionsgleichung kann das externe Feld \vec{B}_{ext} durch einen entsprechenden Term berücksichtigt werden:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \nabla \times (\vec{u} \times \vec{B} + \vec{u} \times \vec{B}_{ext}) + \eta \Delta \vec{B}.$$

Der zusätzliche Term beschreibt die Verstärkung der magnetischen Induktion durch die Wechselwirkung der Flüssigkeitsbewegung im Planeteninneren und dem externen Feld. Er hebt übrigens auch die Symmetrie $\vec{B} \leftrightarrow -\vec{B}$ auf. Bedenkt man nun, dass das externe Feld aufgrund der Wechselwirkung des Planeten mit dem Sonnenwind entsteht, also das externe Feld vom dynamoerzeugten Feld abhängt, $\vec{B}_{ext} = \vec{B}_{ext}(\vec{B})$, und das externe Feld immer eine dem intern erzeugten Dynamofeld entgegen gesetzte Orientierung besitzt, so entsteht eine interessante negative Rückkopplungssituation. Zwei mögliche Lösungen hat dieser Feedback-Dynamo, wie Glaßmeier u.a. (2007) zeigen konnten. Die eine entspricht der terrestrischen Situation mit einem starken Dynamofeld und einem großen Magnetopausenabstand, der ein vernachlässigbares externes Feld zur Folge hat. Die andere entspricht eher der Merkursituation mit einem relativ starken externen Feld, das mit dem Dynamo rückkoppelt und das Gesamtfeld herabsetzt. Welche der verschiedenen Erklärungen für das schwache Merkurfeld letztendlich zutrifft, können nur intensive weitere theoretische Untersuchungen und detaillierte Magnetfeldmessungen in der Umgebung Merkurs entscheiden. BepiColombo wird hier einen entscheidenden Beitrag liefern.

Konklusion

Weltraumprojekte wie das beschriebene BepiColombo-Projekt sind langfristige Projekte, die eine langfristige Perspektive auf Seiten der beteiligten Institutionen und Wissenschaftlergruppen erfordert. Die ESA selber stellt sich dieser Aufgabe und entwickelt zur Gewährleistung der Kontinuität in solchen Projekten spezielle Dokumentationsverfahren. Auf universitärer Seite ist dies schwieriger. Lange Jahre galten gerade Universitäten als Garant für die Kontinuität in solchen Projekten, da sie den kurzzeitigen Trends forschungspolitischer Aktivitäten nicht in dem Maße ausgeliefert zu sein schienen wie andere Institutionen. Die Erfahrungen in jüngster Zeit, z.B. Innovationspakete, Hochschuloptimierungsprogramme oder die noch ergebnisoffenen Diskussionen um die Errichtung einer Niedersächsischen Technischen Universität, deuten jedoch einen Paradigmenwechsel auch für die universitäre Forschung an.

Wissenschaftliches Arbeiten erfordert Geduld, nicht nur bei der experimentellen Arbeit oder dem theoretischen Durchdringen des zu erforschenden Gegenstandes, sondern auch in der Einwerbung der heute immer wichtiger werdenden Drittmittel. Das BepiColombo Projekt mag in einigen seiner Details, Laufzeit und Internationalität, außergewöhnlich sein, erscheint aber gerade deshalb geeignet, sich ändernde Rahmenbedingungen wissenschaftlicher Praxis aufzuzeigen. Angesichts abnehmender Grundfinanzierung wird die Drittmitteln unverzichtbarer Bestandteil jedes neuen wissenschaftlichen Projektes. Zu Tätigkeiten in Lehre und Forschung tritt zunehmend die Aufgabe der Akquise, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden zu sich selbst finanzierenden Unternehmerinnen und Unternehmern in staatlich kontrollierten Einrichtungen. Interne und externe Qualitätskontrolle wird dabei zunehmend über Förderrankings ausgeübt, die in der Regel dann finanzielle Förderungen durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft in den Fordergrund stellen, Drittmittel anderer Institutionen werden geringer geachtet. Deutlich zutage tritt dies z.B. in der übergebührlichen Beachtung von, durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereichen, deren Zahl dann in der Öffentlichkeit als Indikator für die Exzellenz ganzer Universitäten herhalten muss. Das auch andere Projekte sich einem starken, vielleicht aufgrund ihrer Internationalität stärkeren Wettbewerb stellen müssen, dafür mag das vorgestellte BepiColombo Projekt ein Beispiel sein.

Literaturhinweise

- AUSTER, H.U. u.a.: ROMAP: Rosetta Magnetometer and Plasma Monitor, Space Sci. Rev., 128, 221-240, 2007.
- BALOGH, A., R. GRARD, S. C. SOLOMON, R. SCHULZ, Y. LANGEVIN, Y. KASABA & M. FUJIMOTO: Missions to Mercury, Space Sci. Rev., 132, 611-645, 2007.
- CHRISTENSEN, U. R.: A deep dynamo generating Mercury's magnetic field, Nature, 444, 1056-1058, 2006.
- GLAßMEIER, K.H., H.U. AUSTER & U. MOTSCHMANN: A feedback dynamo generating Mercury's magnetic field, Geophys. Res. Lett., 34, L22201, doi:10.1029/2007GL031662, 2007.
- GLAßMEIER, K.H. u.a.: The Fluxgate Magnetometer of the BepiColombo Mercury Planetary Orbiter, Planet. Space Sci., zur Veröffentlichung eingereicht, 2008
- NESS, N.F., K.W. BEHANNON, R.P. LEPPING, Y.C. WHANG & K.H. SCHATTEN: Magnetic field observations near Mercury: preliminary results from Mariner 10, Science, 185, 151-160, 1974.

Geoinformatik – aktuelle Forschungsfragen*

MONIKA SESTER

Institut für Kartographie und Geoinformatik, Leibniz Universität Hannover
Appelstraße 9 a, D- 30167 Hannover

Zusammenfassung

Geoinformatik beschäftigt sich mit der Erfassung, Verwaltung und Analyse raumbezogener Daten und Informationen. Damit hat sie viele Berührungspunkte zu Nachbardisziplinen wie Informatik, Geodäsie, Kartographie, Geographie aber auch Mathematik. Im Beitrag werden schlaglichtartig aktuelle Forschungsfragen beleuchtet und anhand von Arbeiten am Institut für Kartographie und Geoinformatik dargestellt.

1. Einführung und Übersicht

Geodaten werden mit verschiedenen Sensoren erfasst. Sie stehen in unterschiedlichsten Formen und Datentypen bereit; im Wesentlichen kann man Bilddaten und Vektordaten unterscheiden. Die Vektordaten sind meist semantisch annotiert, d.h. es lassen sich beispielsweise Straßen, Gebäude oder Biotopgrenzen unterscheiden. Die Geodaten werden über standardisierte Schnittstellen bereitgestellt und finden sich bekanntermaßen in analogen und digitalen Karten, in Fahrzeugnavigationssystemen, aber auch in Mobiltelefonen, die ihre Nutzer über sogenannte Location Based Services über das nächste italienische Restaurant oder das nahe Blumengeschäft informieren können. Sehr bekannt sind heute virtuelle Globen wie Google Earth, das seine Nutzer durch z.T. hoch aufgelöste Luft- und Satellitenbilder, aber auch Zusatzinformation in Form von überlagerten Straßen oder sonstigen Points-of-Interest informiert.

Die Fülle, Vielfalt und steigende Verfügbarkeit von Geodaten stellt Chancen und Herausforderungen für die Forschung dar. Zum einen liegen sie in der Handhabung der Informationsflut, zum anderen in der geeigneten Integration und Kombination für neue Fragestellungen, z.B. für Anwendungen in der Navigation.

* Kurzfassung des am 09.11.2007 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

2. Informationsflut

a. Dateninterpretation

In der Geodäsie werden traditionell Messsensoren eingesetzt, mit der die 2D- bzw. 3D-Realität erfasst und rekonstruiert werden kann. Standen in der Vergangenheit spezielle Messgeräte im Vordergrund, mit denen dediziert eine Messung ausgewählter, bedeutungsvoller Punkte durchgeführt wurden, kommen in jüngerer Zeit Sensoren hinzu, mit denen Massendaten erfasst werden, in denen sich das Objekt indirekt abbildet. Dies ist der Fall bei Bilddaten aber auch bei den neuen Laserscanning-Daten, in denen die Geometrie von Objekten in Form von 3D-Massenpunkten erfasst wird (siehe Abbildung 1). Kennzeichen für diese Art von Daten ist, dass die Objekte darin implizit gegeben sind (in der Anordnung der 3D-Punkte) und eine Weiterverarbeitung in der Regel eine Interpretation der Punktmenge erfordert. So können beispielsweise Ebenen in den Punktwolken gesucht werden, die dann die einzelnen Fassadenelemente des Gebäudes darstellen können (siehe Abbildung 2). Diese Ebenen müssen anschließend zu einer konsistenten 3D-Gebäudegeometrie zusammengesetzt werden. Hierfür wurde im Kontext von luftgestützten Laserdaten ein Verfahren entwickelt, welches in der Lage ist, vollautomatisch 3D-Stadtmodelle abzuleiten (Brenner, 2005).



Abb. 1: 3D-Laserscan des Welfenschlosses der Leibniz Universität Hannover.



Abb. 2: Segmentierung der 3D-Punktwolke in einzelne Ebenen.

b. Raumbezogene Suchmaschinen

Suchmaschinen sind heute für viele ein nützliches Instrument im Alltag geworden. Raumbezogene Informationen spielen dort eine zunehmende Rolle. Wenn es darum geht, lokale Anfragen zu stellen, z.B. die Suche nach einem Zahnarzt oder einer Apotheke, spielt die räumliche Nähe natürlich eine essentielle Rolle. Auch Anfragen nach touristischen Zielen beinhalten meist räumliche Aspekte, die durchaus von heutigen Systemen teilweise schon gelöst werden. Anfragen der Form „Hotel in Hannover“ können heute bereits gelöst werden und die Suchmaschinen liefern sehr gute Hinweise auf relevante Webseiten. Probleme stellen sich, wenn es darum geht, weitere räumliche Konstrukte zu nutzen, die der Mensch in seiner Sprache oft verwendet, etwa „Hotel in der Nähe des Flughafens“ oder gar Negationen wie „Hotel möglichst außerhalb des Kneipenviertels“. Diese Anfragen lassen sich mit gängigen Suchmaschinen, die auf dem Prinzip des Vergleichs mit Schlüsselbegriffen arbeiten, nicht ohne Weiteres lösen. Ein Beispiel ist die Anfrage „Hotel im Norden von Hannover“, welches alle Webseiten zurückliefert, welche die Schlüsselbegriffe „Hotel“, „Norden“ und „Hannover“ enthalten. Dies bringt neben einer richtigen Antwort, in der das Hotel explizit auf seiner Webseite vermerkt hat, dass es sich im Norden Hannover befindet, auch ein Hinweis auf eine Reiseagentur namens „Buche den Norden“ (siehe Abbildung 3).

Im Rahmen des EU-Projektes SPIRIT wurden am ikg zu raumbezogenen Suchmaschinen geforscht. Es wurden Möglichkeiten geschaffen, einige räumliche Relationen zu modellieren und damit für Abfragen nutzbar zu machen. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis einer Anfrage nach „Schloss in der Nähe von Hannover“.

Ein weiteres Problem für die Integration von Geodaten in Suchmaschinen ist, dass diese in der Regel durch ihre Geometrie repräsentiert werden und ihre Bedeutung erst durch ihre Form und die räumlichen Relationen gewinnen. Bei-

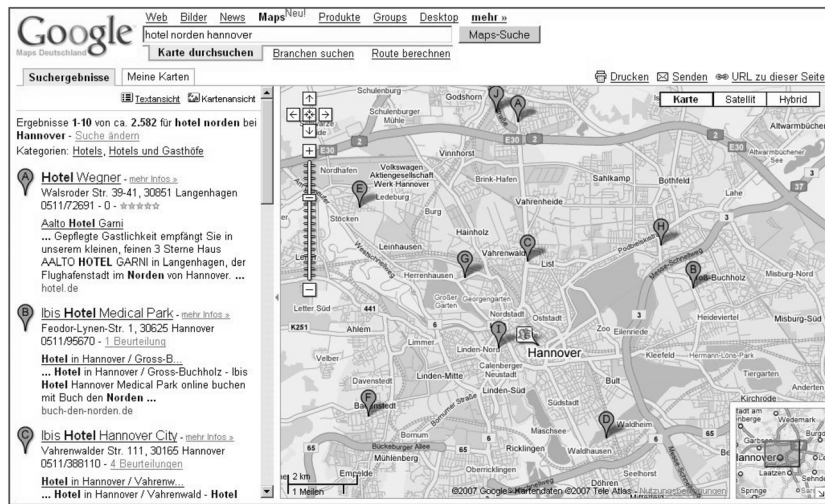


Abb. 3: Suchanfrage nach „Hotels im Norden von Hannover“.

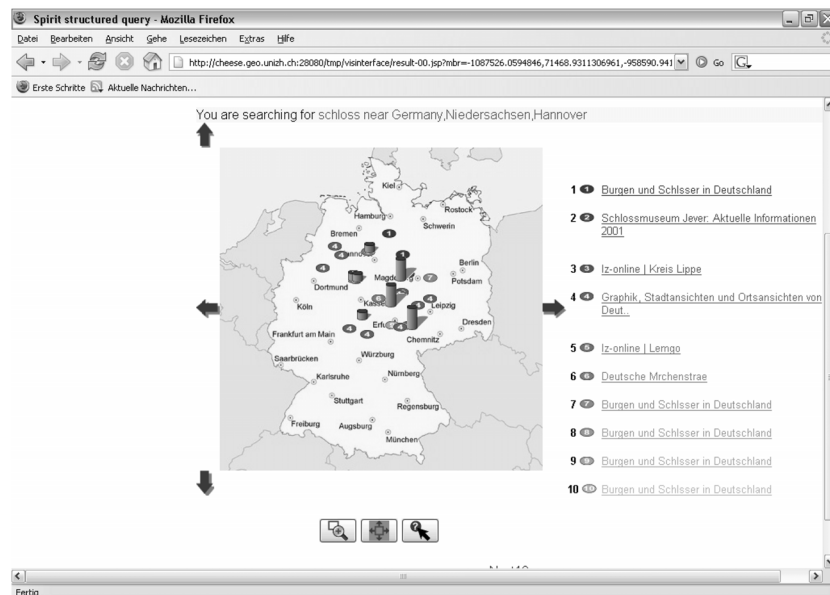


Abb. 4: Suchanfrage an räumliche Suchmaschine SPIRIT: Schloss near Hannover.

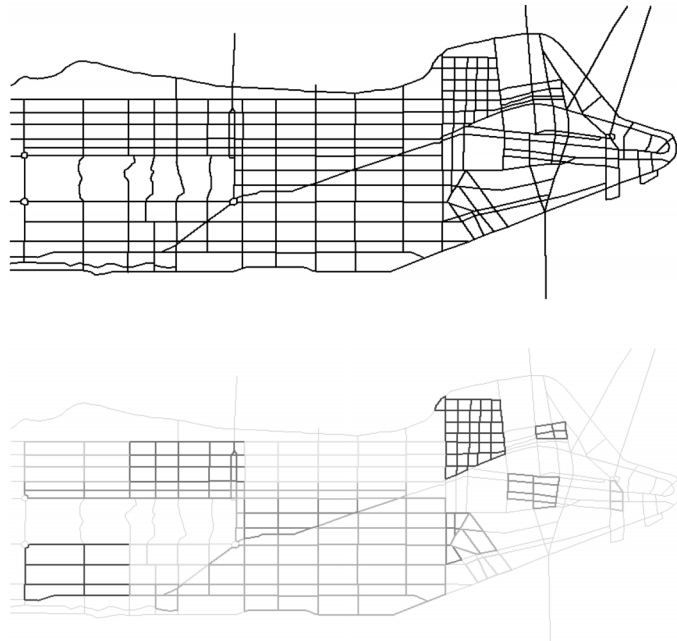


Abbildung 5: Straßennetz (oben), sowie automatisch extrahierte Gitterstrukturen (unten).

spielsweise fällt es uns Menschen nicht sehr schwer, in einem Datensatz bestimmte Objekte zu erkennen, etwa in Abbildung 5 ein Straßennetz, ohne dass diese explizit als solche bezeichnet sind. Um jedoch gezielt nach Geodaten zu suchen, müssen diese bekannt und benannt sein.

Mittels Methoden der Algorithmischen Geometrie und des Spatial Data Minings lassen sich solche Strukturen automatisch finden und somit für Suchanfragen zugänglich machen (HEINZLE et al., 2006). HEINZLE (2007) entwickelte Methoden mit denen sich Straßenstrukturen in beliebigen Datensätzen automatisch extrahieren lassen, wie z.B. Gitter, Ringstrukturen oder auch sternförmig zusammenlaufende Straßen (siehe Abb. 5).

c. Datenabstraktion –Generalisierung

Die Beherrschung und Kommunikation der Datenflut erfordert eine Abstraktion der Information. Dies wird auf graphischem Wege in der Kartographie traditionell durch sogenannte Generalisierungsverfahren durchgeführt, welche zu Karten in unterschiedlichen Maßstäben führen. Auf diese Weise wird es möglich,

eine hierarchische grob-zu-fein-Annäherung an die Information durchzuführen. An der Automation dieser Prozesse wird derzeit international geforscht. Eine Aufgabenstellung ist dabei die sogenannte Typifizierung, d.h. die Reduktion einer gegebenen Objektmenge unter Beibehaltung der räumlichen Verteilung. Diese wird beispielsweise nötig, wenn es darum geht, Gebäude in kleineren Maßstäben darzustellen. Ein Blick in Karten der Maßstäbe 1:50.000 bzw. 1:100.000 zeigt dass dort die Gebäude stark vergrößert und lediglich als Symbole, meist Quadrate, dargestellt sind, da sie in ihrer wahren Größe dargestellt zu klein wären, um noch sichtbar zu sein. Die Reduktion der Anzahl der Objekte muss dabei derart erfolgen, dass deren räumliche Verteilung beibehalten bleibt. Im folgenden wird ein automatisches Verfahren zur Typifizierung vorgestellt.

2.1. Typifizierung auf Basis von Kohonen Merkmalskarten

Der am ikg entwickelte Ansatz basiert auf Kohonen Merkmalskarten (SESTER, 2005), einem Verfahren aus dem Bereich der Neuronalen Netze (KOHONEN 1982). Gegeben ist ein sogenannter Eingaberaum E der Dimension m mit Reizen x , sowie ein Kartenraum A der Dimension d mit Neuronen, wobei d üblicherweise ein- oder zweidimensional ist. Jedes Neuron im Kartenraum wird durch ein Tupel $U=(w,p)$ beschrieben, d.h. einem Gewicht w aus E und einer Position p aus A . Aus der Position p können die Nachbarn des Neurons bestimmt werden. Das Gewicht w gibt an, auf welchen Reiz das Neuron am stärksten reagiert. Häufig werden diese Positionen in äquidistanten, diskreten Gittern vorgegeben. Die a priori Gewichtung erfolgt zufällig, wenn über die Struktur der Karte keine Information vorliegt. Andernfalls kann diese Information einfließen.

Der Algorithmus lässt sich wie folgt beschreiben:

- Stimuluswahl: Aus der Menge der Reize im Eingaberaum wird zufällig ein Reiz v ausgewählt.
- Response: Es wird das Neuron U_c bestimmt, dessen Gewicht dem Reiz am ähnlichsten ist. Ähnlichkeit wird hier durch räumliche Nähe definiert. Dies kann durch Berechnung der euklidischen Distanz zwischen dem Reiz und allen anderen Neuronen(-gewichten) ermittelt werden:

$$|v - w_c| \leq |v - w_r| \forall r \in A$$

- Anschließend werden die Gewichte des Neurons sowie der Neuronen seiner Umgebung angepasst, so dass die Gewichte dem Reiz ähnlicher werden.

$$w_{r-neu} = w_{r-alt} + \eta h(v - w_{r-alt})$$

wobei diese Adaption von der Lernrate und der Umgebung h abhängt.

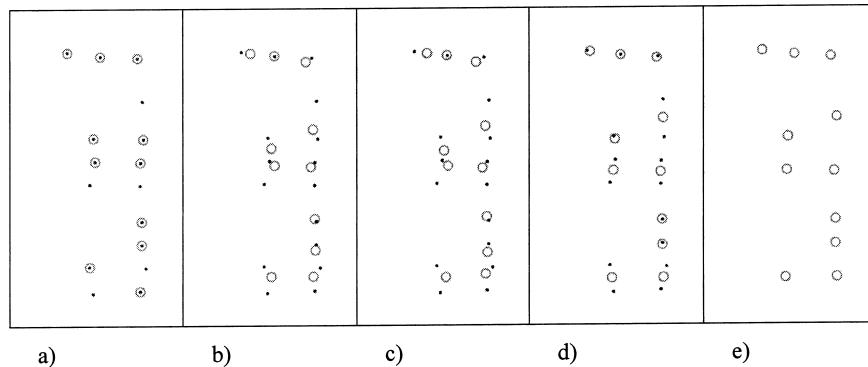


Abb. 6: Typifizierung einer 2D-Struktur durch Reduktion auf 70%: a) Startsituation (dunkle Punkte Stimuli, helle Kreise Neuronen), b)-d) Zwischensituationen der Neuronenverteilung, e) generalisierte Endsituation.

- Diese Lernschritte werden iterativ ausgeführt, bis ein Abbruchkriterium erreicht ist.

Als Funktion h eignet sich die Gaußfunktion, wobei der Radius σ entsprechend der Trainingszeit variiert wird: um die Grobstruktur der Karte zu bilden, sollte er zunächst groß sein, anschließend jedoch kleiner werden, zur Ausbildung der lokalen Feinstruktur. Die Reichweite der Funktion ist damit am Anfang – in der Ordnungsphase – hoch, womit eine optimale Verteilung der Neuronen erreicht wird. Mit wachsender Anzahl an Lernschritten verringert sich die Reichweite und bewirkt, dass die Änderungen nur noch lokal sind, und führt somit zur Konvergenz. Abbildung 6 zeigt die Ausgangssituation, sowie mehrere Zwischenschritte und die generalisierte Endsituation. Deutlich ist die Anpassung der Neuronen (helle Kreise) und die ursprüngliche Situation (dunkle Punkte) zu erkennen.

Durch dieses Wechselspiel zwischen Reizen und Neuronen wird die dichte-basierte Neuverteilung der Objekte erhalten. In der Anwendung der Gebäudegeneralisierung stellen die ursprünglichen Gebäude die Reize dar, die Neuronen bestehen aus der reduzierten Menge der Objekte. In einem iterativen Prozess werden nun die Neuronen an die Reize derart angepasst, dass letztere versuchen, die Neuronen anzuziehen. Dies hat schließlich den Effekt, dass sich an Stellen mit vielen Reizen auch mehr Neuronen anlagern – d.h. die ursprüngliche Situation der Objektverteilung wird nun mit weniger Objekten wiedergeben.

Abbildung 7 zeigt drei unterschiedliche Generalisierungsstufen eines Datenbestandes.

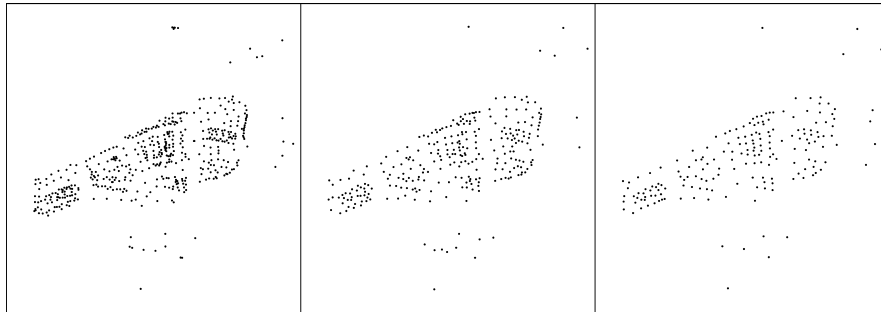


Abb. 7: Ausdünnung eines Datenbestandes (links) mit unterschiedlichen Reduktionsraten: Mitte: 50%, rechts: 30% der ursprünglichen Punkte.



Abb. 8: Generalisierung von Gebäuden für einen Zielmaßstab 1:50.000: links: Überlagerung mit zu detaillierten Gebäuden; rechts: Ergebnis nach Typifizierung.

2.2. Beispiele für die Generalisierung von Gebäuden

Abbildung 8, links, zeigt eine Ausgangssituation in der deutlich wird, dass die Gebäude viel zu klein und zu detailliert sind. Nach der Typifizierung sind die Gebäudesymbole getrennt wahrnehmbar und sie geben in der Summe die korrekte räumliche Verteilung der Gebäude in der Realität wieder.

Abbildung 9 zeigt, wie mit dem Verfahren Gebäudegeneralisierungen für unterschiedliche Zielmaßstäbe automatisch generiert werden können. Die Prozessierung ist jeweils gleich, lediglich sind unterschiedliche Werte als Zielmaßstab anzugeben. In diesem Fall wurden die Maßstäbe 1:25.000, 1:50.000 und 1:75.000 vollautomatisch erzeugt. Solche Verfahren sind nicht nur für die Kartenproduktion relevant, sondern zunehmend auch für die Darstellung räumlicher Information auf kleinen mobilen Displays (SESTER & BRENNER, 2004).

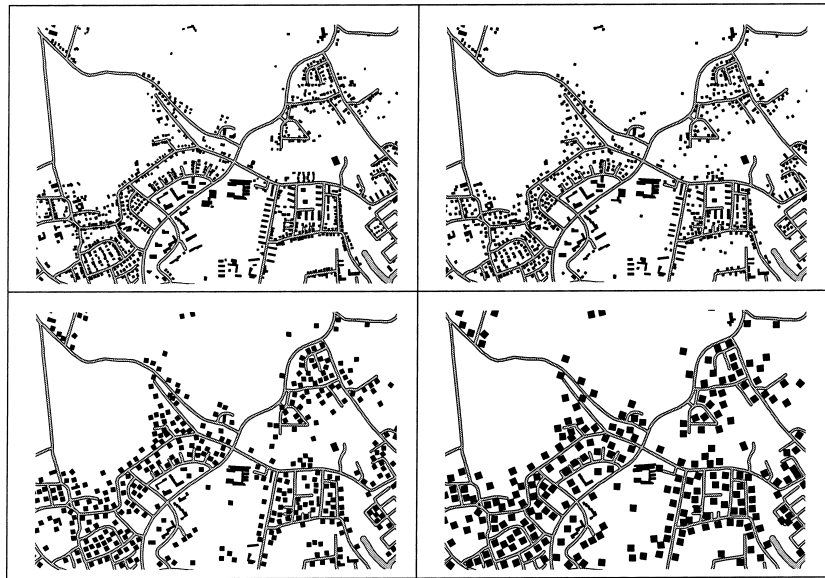


Abbildung 9: Gebäudedarstellung in unterschiedlichen Zielmaßstäben: Ausgangssituation: überlagerte Gebäude Daten (oben links), Zielmaßstäbe 1:25.000 (oben rechts), 1:50.000 (unten links), 1:75.000 (unten rechts).

3. Nutzung von Geodaten für die Navigation

Navigationssysteme sind in Fahrzeugen heute schon fast zur Selbstverständlichkeit geworden. Sollen diese allerdings für die Fußgängernavigation eingesetzt werden, stoßen sie an ihre Grenzen: beispielsweise sind meist Fußgänger-routen nicht im Datensatz vorhanden, etwa Fußgängerzonen, Parkwege oder auch Wege innerhalb von Gebäuden. Ferner sind die Routenanweisungen nicht an die Gewohnheiten und Bedürfnisse des Menschen angepasst. Dieser kann Anweisungen der Form „in 156m rechts abbiegen“ weniger gut verarbeiten als eine, die sogenannte Landmarken nutzt: „biege an der Kirche rechts ab“. B. ELIAS (2005) entwickelte in ihrer Dissertation ein Verfahren, welches ermöglicht, automatisch geeignete Landmarken an Entscheidungspunkten eines Weges zu bestimmen. Als Verfahren wurde eine Methode des Maschinellen Lernens erweitert, so dass sie in der Lage ist, die für Landmarken typischen Eigenschaft, nämlich ihre lokale Einzigartigkeit, automatisch abzuleiten. Dies Landmarken lassen sich direkt als Routenanweisungen verwenden. Weiterhin lassen sie sich als Optimierungskriterium in Routingalgorithmen einbinden, so dass speziell nach „einfachen Routen“ gesucht werden kann, also solchen, die sich besonders gut merken bzw. kommunizieren lassen (ELIAS & SESTER, 2006).

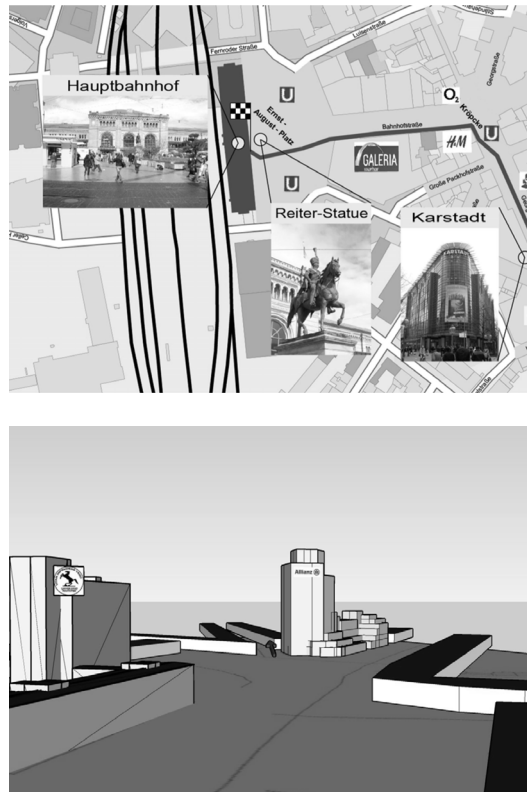


Abb. 10: Routenvisualisierungen mit Landmarken in 2D und in 3D.

Abbildung 10 zeigt ein Beispiel für Visualisierungen von Routen, die durch Landmarken unterstützt sind.

4. Zusammenfassung

Die gezeigten Arbeiten wollen beispielhaft verdeutlichen, dass eine Automation in der raumbezogenen Datenerfassung erforderlich ist, um die anfallenden Massendaten handhaben zu können, um sie sinnvoll auswerten zu können und für neue Anwendungen einzusetzen. Dies erfordert eine Problem- und Nutzeradaptierte Aufbereitung der Daten. Hierzu werden Methoden der Geodäsie, Informatik und Mathematik eingesetzt. Ziel der Automation ist es, die räumlichen kognitiven Fähigkeiten des Menschen zu verstehen und nachzubilden, um somit Verfahren bereit zu stellen, die ihn zunehmend unterstützen können. Bei-

spiele hierfür sind die Suche nach relevanter Information und die Wegesuche in komplexen Umgebungen.

5. Literatur

- BRENNER, C., 2005: Building reconstruction from images and laser scanning, *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Theme Issue on „Data Quality in Earth Observation Techniques“, 6(3-4), March 2005, Elsevier, 187-198.
- ELIAS, B., 2006: Extraktion von Landmarken für die Navigation, in: *Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover*, Heft Nr. 260, DGK, Reihe C, Nr. 596.
- ELIAS, B. & M. SESTER, 2006: Incorporating Landmarks with Quality Measures in Routing Procedures, in: Raubal, M., H.J. Miller, A.U. Frank, M.F. Goodchild (Eds.): *Geographic Information Science, GIScience 2006*, Münster, Germany, LNCS 4197, pp. 65-80, 2006.
- HEINZLE, F., K.-H. ANDERS & M. SESTER, 2006: Pattern Recognition in Road Networks on the Example of Circular Road Detection, in: Raubal, M., H.J. Miller, A.U. Frank, M.F. Goodchild (Eds.): *Geographic Information Science, GIScience 2006*, Münster, Germany, LNCS 4197, pp. 253-267, 2006.
- HEINZLE, F., 2007: Verfahren zur Interpretation von Vektordaten, in: *Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover*, Heft Nr. 267, DGK, Reihe C, Nr. 607.
- KOHONEN, T., 1982, Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 42, pp. 59-69.
- SESTER, M., 2005: Optimizing Approaches for Generalization and Data Abstraction, in: *International Journal of Geographic Information Science*, Vol 19, Nr. 8-9, pp. 871-897, 2005.
- SESTER, M. & C. BRENNER, 2004: Continuous Generalization for Visualization on Small Mobile Devices, in: P. Fisher, Ed., 'Proceedings of the International Symposium on Spatial Data handling (SDH)', Leicester, 2004.

KLASSENSITZUNGEN

Kann man Pflanzen klonen? Aber natürlich!*

RALF R. MENDEL

Institut für Pflanzenbiologie, TU Braunschweig
Humboldtstraße 1, D-38106 Braunschweig
r.mendel@tu-bs.de

Der Begriff des Klonens ist in der Öffentlichkeit negativ belegt. Die Medien verwenden ihn im Zusammenhang mit dem „Klonen von Tieren“ – jeder kennt das Klon-Schaf Dolly – oder dem ethisch-moralisch abwegigen „Klonen von Menschen“. Was Klonen genau ist, vermag der Zeitungsleser oder TV-Zuschauer dabei kaum zu sagen, aber „gefährlich sei es sicherlich“, „moralisch verwerflich“ und „die Gentechnik schrecke vor nichts zurück“, „und jetzt also auch noch die Pflanzen, unsere Nahrungsgrundlage!“ Soviel zum Reizwort Klonen.

Dabei wurde der Begriff schon vor hundert Jahren geprägt und jeder Kleingärtner klonet Pflanzen. Er nennt diese Art der Pflanzenvermehrung jedoch anders. Ein Klon ist ein vegetativer, also nichtsexueller Nachkomme eines Lebewesens, d. h. er ist nicht durch Befruchtung einer Eizelle hervorgegangen. Er ist genetisch identisch mit dem Organismus, aus dem er hervorgegangen ist. Ein Beispiel: Die Vermehrung der Erdbeerpflanzen durch Senker ist Klonen. Die Senker-Pflanzen sind erbgleich zur Mutterpflanze, sie sind ihre Klone. Klonen ist also vegetative Vermehrung von Organismen. Und dieser Vorgang hat nichts mit Gentechnik zu tun. Ganz anders hingegen der Begriff des Klonierens. Klonieren ist die Grundlage der Gentechnik, man versteht darunter die Vermehrung von DNA im Reagenzglas. In den Medien werden beide Begriffe gern vermengt.

Das Klonen von Pflanzen ist für die moderne Pflanzenzüchtung von großer Bedeutung. Bis eine neue Sorte für den Markt zugelassen wird, vergehen im Durchschnitt 10 bis 15 Jahre. Um jedoch auf Klimaveränderungen, neu auftretende Pflanzenkrankheiten und sich verändernde Verbrauchergewohnheiten eingehen zu können, ist die Züchtungsforschung an einer Verkürzung dieser Vorlaufzeit in höchstem Maße interessiert. Und hier greift man zum Klonen, aber nicht im althergebrachten Stil, sondern unter Nutzung der Zelltechnik. Pflanzen kann man nämlich nicht nur in Erde oder Hydrokultur anziehen, sondern auch im Reagenzglas oder Glaskolben. In den vergangenen fünfzig Jahren wurden Verfahren entwickelt, Pflanzen völlig keimfrei in Glaskolben auf syn-

* Kurzfassung des am 12.10.07 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

thetischen Nährmedien wachsen zu lassen. Und diese Gläser stehen in computergesteuerten Klimakammern, die jedes Klima der Welt simulieren können. Der Forscher hat alles unter Kontrolle und kann durch das Nährmedium und die Klimabedingungen sowohl Wachstum als auch Entwicklung der Pflanzen steuern.

Wie funktioniert nun das Klonen mittels Zelltechnik? Eine im Glaskolben angezogene Pflanze wird im Labor in zwanzig bis einhundert kleine Stücke zerschnitten, die jedes in ein eigenes Reagenzglas eingebracht werden. Pflanzenzellen verfügen nämlich über eine Eigenschaft, die tierischen Zellen in diesem Maße nicht besitzen, sie sind totipotent. Jede Pflanzenzelle hat die Fähigkeit, sich wieder zu einer intakten, ausgewachsenen Pflanze entwickeln zu können. Das bedeutet, daß sich jedes unserer zwanzig bis einhundert Pflanzenstückchen zu einer normalen Pflanze entwickelt; wir haben aus einer einzelnen Ausgangspflanze mittels Zelltechnik bis zu einhundert erbgleiche Nachkommen erzeugt, wir haben sie geklont. Und jeden dieser Nachkommen kann man wieder verhundertfachen. Die moderne Erdbeerzüchtung kann auf diese Weise innerhalb von sechs Monaten zehntausend Nachkommen aus einer Ausgangspflanze erzeugen. Mit Absenkern läßt sich das niemals in dieser kurzen Zeitspanne bewerkstelligen. Pflanzenvermehrung mittels Klonen in der Zelltechnik funktioniert für viele Pflanzenarten und wird seit mehr als drei Jahrzehnten weltweit eingesetzt. Davon profitieren nicht nur Züchtung und Land- und Forstwirtschaft, sondern auch der Kleingärtner und der Blumenfreund. Unsere in immer neuen Variationen beim Blumenhändler angebotenen Zierpflanzen entstammen zu meist nicht einem Samenkorn, sondern kommen ganz prosaisch aus dem (zu meist niederländischen) Zelltechniklabor, wo eine gut geratene Ausgangspflanze mittels Vermehrung im Reagenzglas vervielfacht wurde und die solcherart vertausendfachen Jungpflanzen nachfolgend ganz konventionell in Erde im Gewächshaus herangezogen werden. So geht es mit dem Gemüse, mit dem Obst, so geht es mit den Kulturpflanzen. Und derartige Zelltechnik-Vermehrungsbetriebe gibt es nicht nur beim niederländischen Nachbarn, sondern auch z. B. in Niedersachsen als Klein- und mittelständische Betriebe [1, 2]. Es sei betont, daß Klonen und Anzucht im Glaskolben nichts mit Gentechnik zu tun haben. Es werden keine neuen Gene in die vervielfachten Pflanzen eingeführt, sie sind lediglich Klone ihrer Ausgangspflanze.

Pflanzenvermehrung durch Zelltechnik ist auch aus den modernen Biowissenschaften, z. B. der Pflanzenbiologie und der Zellbiologie, nicht mehr wegzudenken [3]. In den Forschungslabors der TU Braunschweig und anderer Universitäten werden Pflanzen aber nicht nur durch Klonen vermehrt, sondern aus ihnen werden auch Zellkulturen erzeugt, d. h. Einzelzellen oder kleine Zellaggregate werden in Nährmedien kultiviert. Durch eine geschickte Kombination von Wachstumsregulatoren kann man diese Zellkulturen jederzeit in

embryogene Stammzellen umwandeln. Schon wieder ein Reizwort! Anders als in der medizinischen Forschung wird in der Pflanzenforschung bereits seit Jahrzehnten mit embryogenen Stammzellen erfolgreich gearbeitet. Und da sie totipotent sind, kann man sie jederzeit zur Teilung anregen und ihre Entwicklung so steuern, daß sie sich zu Pflanzenorganen entwickeln oder zu Embryonen oder daß sich aus ihnen eine vollständige und gesunde Pflanze regeneriert. Hier ist die pflanzliche Zellbiologie der medizinischen Forschung weit voraus!

Literatur

- [1] WINKELMANN, T., GEIER, T., & PREIL, W.: Commercial in vitro plant production in Germany in 1985–2004. *Plant Cell Tiss. Organ Culture*: **86** (2006), 319-327.
- [2] DEBERGH, P. & ZIMMERMAN, H.: *Micropropagation. Technology and Application*. Springer-Verlag 2007.
- [3] PIERIK, R.L.M.: *In vitro culture of higher plants*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 1997.

Armut in Entwicklungs-und Schwellenländern*

LUDWIG SCHÄTZL

Wirtschaftsgeographie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
Scheiderberg 50, D-30167 Hannover

1. Die Armut ist in den Entwicklungs-und Schwellenländern noch besorgniserregend hoch. Nach Berechnungen der Weltbank mussten im Jahr 2003 in den Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen über eine Milliarden Menschen mit weniger als einem Dollar pro Tag ihr Leben fristen. Die physische Existenz dieser extrem armen Menschen ist unmittelbar bedroht. Den Menschen mangelt es an lebensnotwendiger Nahrung, Kleidung, Unterkunft, Gesundheitsfürsorge usw.

2. Allerdings lässt die Armutsentwicklung einen positiven Trend erkennen. Die in den sog. „Millenium-Entwicklungszielen“ an erster Stelle genannte Forderung, zwischen 1990 und 2015 den Anteil der Bevölkerung mit einem Einkommen von weniger als einem Dollar pro Tag zu halbieren, erscheint weltweit gesehen realisierbar. In den Entwicklungs- und Schwellenländern sank ihr Anteil von ca. 28 Prozent (1990) auf 20 Prozent (2003) und bis 2015 wird ein weiterer Rückgang auf unter 12 Prozent erwartet.

3. Dabei ist zu beachten, dass das Ausmaß extremer Armut und die Perspektiven der Armutsreduzierung in den Regionen der Erde sehr unterschiedlich sind. Die erfreulichste Entwicklung weist die Region Ost-Südostasien auf. Der Anteil der in extremer Armut lebenden Bevölkerung sank von knapp 30 Prozent (1990) auf 11,5 Prozent (2003) und bis 2015 ist ein weiterer Rückgang auf weniger als drei Prozent wahrscheinlich. Besonders prekär hingegen ist die Armutssituation in Subsahara-Afrika. In den neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts stagnierte der Anteil der in extremer Armut lebenden Bevölkerung bei 45 Prozent und auch in absehbarer Zukunft ist mit keiner substantiellen Armutsreduzierung zu rechnen. Die Ursachen für diese tiefgreifenden regionalen Unterschiede sind vielschichtig.

4. Eine Reihe von Ländern in Ost-Südostasien (z.B. Südkorea, Singapur, Malaysia, Thailand, Vietnam, China) erreichten mit einer exportorientierten

* Kurzfassung des am 09.11.2007 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

Industrialisierungsstrategie und einer an marktwirtschaftlichen Erfordernissen orientierten Wirtschaftspolitik hohe wirtschaftliche Wachstumsraten. Trotz zum Teil steigender Disparitäten in der personellen und regionalen Einkommensverteilung ist es gelungen, die extreme Armut substantiell zu verringern. Eine zentrale Ursache des Erfolgs der Wachstumsökonomien Ost-Südostasiens liegt aber auch in endogenen, d.h. in den Ländern vorhandenen sozioökonomischen und soziokulturellen Rahmenbedingungen (z.B. einer hohen Lern-, Spar- und Arbeitsethik). Von besonderer Bedeutung ist die Herausbildung moderner Entwicklungseliten, die die Fähigkeit besitzen, eine entwicklungsfördernde Politik zu formulieren und auch durchzusetzen. Diesen Eliten ist es gelungen, einen eigenständigen, von den westlichen Industrieländern abweichenden Entwicklungspfad einzuschlagen.

5. Im Vergleich mit Ost-Südostasien weist die Region Subsahara-Afrika besorgniserregende Entwicklungsprobleme auf. In vielen Ländern stagniert das Pro-Kopf-Einkommen seit über einem Vierteljahrhundert und die extreme Armut verharrt auf hohem Niveau. Die fundamentalen Ursachen der Unterentwicklung und Armut sind vielfältig. Das Spektrum der Erklärungsansätze reicht von entwicklungshemmenden vorkolonialen und kolonialen Strukturen bis zu ökonomischen, soziokulturellen und politischen Faktoren.

Das vorkoloniale Afrika kennzeichnet das weitgehende Fehlen von bestimmten kulturellen Errungenschaften. Beispielsweise konnte sich durch das Fehlen der Schriftlichkeit weder Bürokratie noch kodifiziertes Recht entwickeln. Zu dem problematischen Erbe der Kolonialzeit gehören die von den damaligen Kolonialmächten exogen bestimmten Landesgrenzen. In den von den Kolonialherrschaften geschaffenen Grenzen konnte der Staat kaum historische und politische Legitimität erlangen, was ein „nation building“ erschwerte. Den in der Vorkolonial- und Kolonialzeit entstandenen institutionellen Rahmen sowie den rentenorientierten Regierungsstil der Kolonialmächte haben die Eliten des unabhängigen Afrikas nach 1960 weitgehend übernommen. Sie betrieben über Jahrzehnte eine Strategie der Importsubstitution, die bekanntlich den Aufbau einer international wettbewerbsfähigen Verarbeitenden Industrie beeinträchtigte. Wie damals beruhen auch heute noch die afrikanischen Exporterlöse auf einer begrenzten Zahl von Primärgütern. Der schon bei Beginn der Unabhängigkeit geringe Anteil Afrikas am Welthandel ist in den folgenden Jahrzehnten weiter geschrumpft. Bis in die Gegenwart erschüttern Stammesfehden, Bürgerkriege, zwischenstaatliche Konflikte, korrupte Diktatoren, aber auch Infektionskrankheiten (AIDS, Malaria, Tuberkulose) die Entwicklung von Subsahara-Afrika.

Dieser Ursachenkomplex von Unterentwicklung und Armut lässt den Schluss zu, dass die Initiative für die notwendigen politischen, sozialen und ökonomischen Reformen von den Führungseliten Afrikas ausgehen müsste.

Die Industrieländer könnten allerdings diesen endogenen Reformprozess unterstützen, etwa in dem sie ihre Märkte für afrikanische Produkte öffnen oder die Agrarsubventionen für ihre heimische Landwirtschaft senken bzw. abschaffen. Welchen Beitrag die Entwicklungshilfe leisten kann um in Subsahara-Afrika Entwicklung zu fördern und Armut nachhaltig zu lindern wird in der Literatur kontrovers diskutiert.

6. Eine Vertiefung der Armutsforschung aus mikroökonomischer Perspektive ermöglicht die Einrichtung der DFG-Forschergruppe „Impact of shocks on the vulnerability to poverty“ an der von der Leibniz Universität Hannover Agrarökonomen, Volkswirte und Wirtschaftsgeographen beteiligt sind. Ziel ist die empirische Erforschung der Dynamik der Armutsentwicklung in wachstumsstarken Entwicklungs- und Schwellenländern Südostasiens mit unterschiedlichen Wirtschaftssystemen.

Literatur

Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) (2007): Zentrale Herausforderungen für wirtschaftliche Entwicklung in Afrika südlich der Sahara. Eine Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats beim BMZ. BMZ Spezial 151. Bonn.

SCHÄTZL, L. (2000): Wirtschaftsgeographie 2, Empirie. Paderborn. UTB 1052.

Weltbank (2006): Weltentwicklungsbericht 2006. Chancengerechtigkeit und Entwicklung. Washington D.C.

Weltbank (2007): Global Economic Prospects. Washington D.C.

Modelle für die Untersuchung winderregter Schwingungen von Brückenquerschnitten*

DIETER DINKLER

Institut für Statik, TU-Braunschweig
Beethovenstraße 51, D-38106 Braunschweig

Im Jahr 1940 ereignete sich im Bundesstaat Washington (USA) der folgenschwere Einsturz einer weit gespannten Hängebrücke, der spektakulärer Beginn eines interdisziplinären Forschungsgebietes im Bauingenieurwesen war, das zu völlig neuen Erkenntnissen über die Wirkung des natürlichen Windes auf unsere Bauwerke führt.

Das Zusammenwirken von Luftströmungen und Bauwerken wird seitdem an verschiedenen Bauwerken mit unterschiedlicher Phänomenologie beobachtet und ist Grund für umfangreiche Windkanalexperimente sowie die Entwicklung

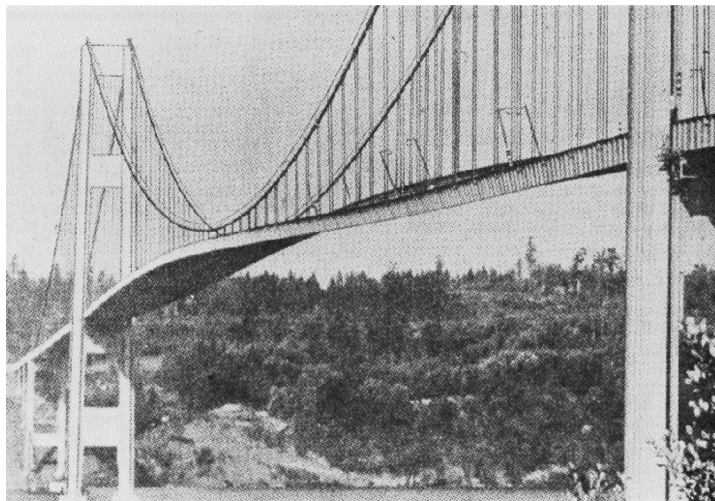


Abb. 1: Tacoma-Brücke kurz vor dem Einsturz.

* Kurzfassung des am 09.11.2007 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

von fallabhängigen Berechnungsmodellen. Speziell für weitgespannte Hängebrücken sind heute Windkanalversuche Stand der Technik, um das Bewegungsverhalten von Brücken im Wind genauer untersuchen und Berechnungsmodelle entwickeln und verifizieren zu können.

Die ersten vereinfachenden Berechnungsansätze stammen aus dem Flugzeugbau, wo man die Druckverteilung auf Bauteile bereits früh mit aerodynamischen Kraftbeiwerten für Auftrieb und Widerstand integral beschreibt. Hiermit lassen sich für Potentialströmungen z. B. Flatterphänomene anschaulich erklären, die für Flugzeuge bemessungsentscheidend sein können.

Bei Brückenquerschnitten liegen wesentlich andere Verhältnisse vor, wenn die Anströmung turbulent ist und der Strömungsabriss die Druckverteilung auf der Bauteiloberfläche dominiert. Hier sind genauere Modelle erforderlich und Untersuchungen nur mit modernen Simulationsverfahren einschließlich der Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen möglich.

Aufgrund des Zusammenwirkens von Strömung und Bauwerk muss deren Verhalten mit den jeweiligen Feldgleichungen beschrieben werden. Mit den heute zur Verfügung stehenden numerischen Verfahren ist es möglich, erste Tasterversuche für eine realitätsnahe numerische Simulation des Bewegungsverhaltens von Brückenquerschnitten im Wind vorzunehmen. Auch wenn die Bauwerke in der Regel von 3 D-Strömungen umgeben sind, kann man spezielle Situationen auch mit 2 D-Modellen untersuchen, die das Verständnis der Phänomenologie ermöglichen und Aussagen zu Grenzgeschwindigkeiten zulassen (Abb. 2).

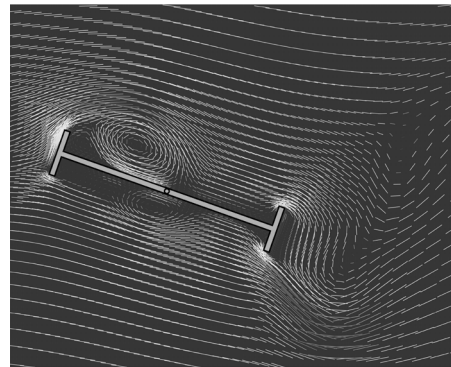


Abb. 2: Geschwindigkeitsverteilung bei Umströmung des Tacoma-Profiles.

Im Vortrag werden verschiedene Modelle für die Beschreibung des Zusammenwirkens von Bauwerk und Umströmung miteinander verglichen sowie mögliche Ursachen für die Schwingungsanregung von Brücken diskutiert.

Johann Valentin Andreae: Christliche Reform und Mathematik¹

HERBERT BREGER

Eichstr. 7, D-30161 Hannover

Johann Valentin Andreae (1586–1654) ist als bedeutende Gestalt der deutschen Geistesgeschichte bekannt. Als christlicher Reformator und Vorläufer des Pietismus hatte er eine beträchtliche Wirkung. Er pflegte eine umfangreiche Korrespondenz, wurde 1620 Superintendent in Calw und 1639 Hofprediger und Konsistorialrat in Stuttgart; einige Jahre später auch Wolfenbütteler Geistlicher Rat. Mit seiner *Christianopolis* nahm Andreae als erster Deutscher teil an der Ausbildung des utopischen Denkens². Die sehr wahrscheinlich von ihm anonym mitverfassten Rosenkreuzer-Schriften erfassten die geistige Situation der Zeit und die Sehnsüchte der lutherischen Intellektuellen so treffend, dass diese Schriften eine für Andreae selbst unerwartet starke Resonanz zeigten. Wenig später distanzierte sich Andreae von den Rosenkreuzer-Schriften. Statt mit diesen vieldiskutierten Fragen möchte ich mich mit einem völlig anderen Thema befassen, nämlich dem von Andreae 1614 veröffentlichten Mathematik-Buch *Collectanea Mathematica*. Das Buch wird zwar in der Sekundärliteratur gelegentlich en passant erwähnt, ist jedoch meines Wissens noch nicht untersucht worden³. Tatsächlich handelt es sich um eines der merkwürdigsten Mathematik-Bücher überhaupt. Vom Beginn bis zum Ende der Lektüre begleitet den Leser das Gefühl von Ratlosigkeit.

¹ Der Vortrag wurde am 9.02.2007 in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten. Wilhelm Schmidt-Biggemann (Berlin) danke ich für die Anregung zur Beschäftigung mit diesem Thema; Hartmut Rudolph (Potsdam/Berlin) und Klaus Alpers (Hamburg/Lüneburg) möchte ich sehr herzlich für Hinweise danken.

² RICHARD VAN DÜLMEN: Die Utopie einer christlichen Gesellschaft. Johann Valentin Andreae, Teil 1, Stuttgart, Bad Cannstatt 1978, S. 11

³ HARALD SCHOLTZ: Evangelischer Utopismus bei Johann Valentin Andreae. Ein geistiges Vorspiel zum Pietismus, Stuttgart 1957, S. 41; Friedrich Seck (Hrsg.): Wilhelm Schickard, Tübingen 1978, S. 18, S. 45; Grundriss der Geschichte der Philosophie. Die Philosophie des 17. Jahrhunderts, Hrsg.: H. HOLZHEY, Band 4, Erster Halbband, S. 157, S. 159; Cimelia Rhodostaurótica. Ausstellung der Bibliotheca Philosophica Hermetica Amsterdam und der Herzog-August-Bibliothek Wolfenbüttel, Amsterdam 1995, S. 75; Andreae: Gesammelte Schriften, Bd. 5, S. 296

Dabei darf man sich nicht von der Themenvielfalt irritieren lassen, die von Geometrie, Arithmetik, Statik, Astronomie, Lehre vom Gnomon über Automatenbau, Optik, Architektur, Festungsbau, Messungen und Maße bis hin zur Lehre von den platonischen Körpern reicht, – diese Themenvielfalt entspricht durchaus der Bedeutungsbreite des lateinischen *Mathematica* im Titel des Buches. Irritierend ist aber dann schon die nächste oberflächliche Beobachtung: Das Buch hat ein Vorwort von zwei Seiten, 110 Kupfertafeln mit jeweils einer oder mehreren Abbildungen und 39 Seiten Beschriftungen zu diesen Abbildungen. Das ist alles, – abgesehen von der Beschriftung der Abbildungen hat das Buch keinen Text. Beweise, also gerade das, was den Inhalt von Mathematikbüchern der griechischen Antike und der europäischen Neuzeit ausmacht, finden sich in Andreaes Buch nicht.

Zunächst könnte die lakonische Kürze die Absicht haben, den Leser zum eigenen Lernen zu stimulieren. Mitunter ist eine Zeichnung tatsächlich geeignet, den Scharfsinn des Lesers herauszufordern. Man sieht dann aber sehr schnell, dass es sich dabei um Ausnahmen handelt. Die offenkundige Dominanz des Visuellen ist allerdings didaktische Absicht⁴.

Eine zweite Vermutung ließe sich an die erste anschließen: Vielleicht handelt es sich um ein Meisterbuch, d.h. vielleicht wollte Andreae lediglich dem kompetenten Mathematiker einen Extrakt bieten, eine Handreichung zur Erinnerungsstütze etwa für eine Vorlesung; die detailliertere Erläuterung wäre dann für den intendierten Adressatenkreis einfach überflüssig. Tatsächlich ist das Buch aus einem Freundeskreis des Theologie-Studenten Andreae entstanden, in dem man sich mit Mathematik befasste und in dem Andreae eine Vorlesung über Mathematik hielt. „Was ich nun selbst von mathematischen Kenntnissen besaß, so wenig es auch seyn mochte, theilte ich treulich mit, woraus meine, in Kupfer gestochene, Kollektaneen entstuden.“⁵ Vielleicht sind die Kupfer teilweise im Laufe der Vorlesung gestochen und an die Hörer verteilt worden⁶. Dann wären die Abbildungen nur ein Handout gewesen, dass der mündlichen Erläuterung in der Vorlesung bedurfte. Dies mag die Entstehung der Kupferstiche erklären; es bleibt dann aber um so rätselhafter, warum Andreae daraus ein gedrucktes Buch machte. Der schlichte Wunsch eines 27jährigen, seinen bisherigen Veröffentlichungen⁷ eine weitere hinzuzufügen, könnte vielleicht auch eine Rolle gespielt haben; dieser Grund ist aber doch um so weniger überzeugend, als das Buch im Ganzen einen unfertigen, ja nachlässigen Eindruck macht.

⁴ ANDREAE: Christianopolis 1619, Hrsg.: RICHARD VAN DÜLMEN, Stuttgart 1972, S. 118–119.

⁵ ANDREAE: Selbstbiographie, Winterthur 1799, S. 63. Vgl. auch ANDREAE: Gesammelte Schriften, Band 2, Stuttgart, Bad Cannstatt, S. 31–32 und S. 140.

⁶ ANDREAE: Selbstbiographie, aaO., Fußnote S. 63–64

⁷ vgl. VAN DÜLMEN, aaO. S. 279–280

Schon bei der ersten Kupfertafel sind Beschriftungen unvollständig, und es fehlen Texte zu einzelnen Abbildungen. Bei Fachleuten konnte Andreae mit diesem Buch jedenfalls keinen Eindruck machen; auch Andreaes akademischer Lehrer in Theologie, Matthias Hafenreffer, über den noch zu sprechen sein wird, dürfte das Buch kaum als Ausweis besonderer mathematischer Kenntnisse des jungen Theologie-Studenten gewertet haben.

Im Vorwort gibt Andreae drei Gründe für die Veröffentlichung an: Zum einen: wer diese Dinge verstreut besitze, habe sie nun in einem Band; zum anderen: wer Vergnügen an diesen Dingen habe, habe weniger Mühe. Der dritte Grund ist ein klassischer Topos: Er habe das Buch veröffentlicht, damit ein anderer es besser mache. Wer mit dem Buch zufrieden sei, möge es so nehmen wie es ist, und vielleicht werde er, Andreae, später einmal einzelnes Schwieriges erklären⁸. Die im Vorwort zum Ausdruck gebrachte Begeisterung über Mathematik steht in einem auffallenden Kontrast zur Schlussbemerkung des Buches: Dort versichert Andreae dem Leser, dass er sehr wohl wisse, dass die Kupferstiche viele Fehler enthalten; die Enge des Raumes (die man freilich hätte verhindern können, wenn man weniger Abbildungen auf die einzelne Kupferplatte gebracht hätte), die Kürze der Zeit (die doch wohl auch in Andreaes Verfügung gestanden hat) sowie die Ermüdung bei der Anfertigung der Kupferstiche hätten die Fehler hervorgerufen⁹. Und Andreae fährt fort: Dem allmächtigen Gott allein gebührt der Ruhm. Dass ein Autor so nonchalant gegenüber den vor der Veröffentlichung festgestellten Fehlern in seinem Werk ist, scheint, erst recht bei einem Mathematik-Buch, doch einigermaßen erstaunlich. Auf weitere Sonderbarkeiten des Buches werden wir noch zu sprechen kommen. Andreae hat das Buch auch später immer mal wieder erwähnt, ohne sich etwa davon als einem Jugendwerk zu distanzieren¹⁰. Wir können jedenfalls zunächst festhalten, dass Andreae offenbar mit diesem Buch weder die Verbreitung mathematischer Kenntnisse in unserem Sinne noch gar die Vermittlung von mathematischem Verständnis erreichen wollte.

Bemerkenswert ist das Motto des Buches; Andreae zitiert 4. Esra 4, 37: „Gott hat die Ewigkeit mit der Waage gewogen und die Zeiten gemessen und mit einer Zahl die Zeiten gezählt und das Maß wird weder bewegt noch erschüttert werden, bis es erfüllt ist“¹¹. Das 4. Buch Esra ist aus dem Bewusstsein heraus ge-

⁸ Bl. A 2 verso

⁹ Bl. F 2 verso

¹⁰ vgl. z.B. ANDREAE: Selbstbiographie, S. 63; Andreae: Gesammelte Schriften, Band 2, S. 31–32 und S. 140

¹¹ „Iehova statera ponderavit aevum; et mensura tempora mensus est, et numero tempora numeravit, non commovenda aut labefactanda, donec impleatur omnis mensura.“ Vgl. den etwas anderen Wortlaut in A. FREDERIK J. KLIJN (Hrsg.): Die Esra-Apokalypse (IV. Esra). Berlin 1992. Vgl. auch ANDREAE: Gesammelte Schriften, Bd. 5, S. 296 und ANDREAE: Civis Christianus, Strassburg 1619, S. 121

Adam	Noah	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Seth		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Enoch		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Enoch		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Enoch		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Enoch		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Enoch		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Enoch		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Enoch		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac
Enoch		Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac	Isaac

Abb. 1: Tafel 100 von Andreae: *Collectanea Mathematica* (mit freundlicher Genehmigung der SLUB Dresden/Deutsche Fotothek, Rara, Math.155.mo).

schrieben, dass das Ende der Zeiten nahe ist, und Andreae bringt dies mit dem Zitat – wenn auch zurückhaltender als manche Zeitgenossen (auch unter den Mathematikern¹²) – zum Ausdruck. Der Tenor der Esra-Apokalypse – der Mensch kann Gottes Wege nicht erkennen und seinen Ratschluss nicht erfassen – steht in unverkennbarem Gegensatz zu jenem so häufig zitierten Text, den man hier eigentlich als Motto erwartet hätte, nämlich der *Weisheit Salomonis*: „Aber du hast alles nach Maß und Zahl und Gewicht geordnet.“¹³ In der *Weisheit Salomonis* wird Weisheit geradezu vergöttlicht¹⁴. Wir werden auf Andreaes Haltung zur Weisheit noch einzugehen haben. Hier möchte ich nur noch anfügen, dass man in die *Collectanea Mathematica* eine unausgesprochene Endzeiterwartung ihres Verfassers hineinlesen könnte. Im Abschnitt über die Maße wird eine Zeittafel der Weltgeschichte gegeben, die Platz lässt für sechs Jahrtausende seit Erschaffung der Welt¹⁵. Adam, Noah, Isaak, Mose, die Argonauten, der Krieg um Troja, der Aufstand der Makkabäer, Christus und Luther werden in der

¹² wie etwa STIFEL, FAULHABER und NEPER

¹³ Die Apokryphen II. Weisheit Salomos, Tobias, Judith, Baruch. (= Die Botschaft des Alten Testaments, Band 25/2.) Hrsg.: HELMUT LAMPARTER. Stuttgart 1972. S. 56, Fußnote

¹⁴ aaO. S. 10, S. 40

¹⁵ ANDREAEE: *Collectanea Mathematica*, Tafel 100; *Cimelia Rhodostauritica*, aaO. S. 75. Für den Zeitgenossen Andreaes war die Assoziation, dass die Woche sechs Werkzeuge hat und der siebente Tag der Tag Gottes ist, schon fast selbstverständlich.

Zeittafel aufgeführt. Natürlich fehlt auch nicht die These, dass Islam und Papsttum gleichzeitig entstanden seien. Die Gegenwart befindet sich schon in der zweiten Hälfte der letzten Spalte; unausgesprochen bleibt: das Ende der Zeit ist nah.

Nach dem Vorwort findet sich ein Blatt mit der Aufschrift „Memoriale Mathematicum“ und der Inschrift „Vivimus in Christo, caetera mortis erunt“¹⁶. „Vivitur ingenio, cetera mortis erunt“ war ein gängiges Sprichwort im 16. Jahrhundert¹⁷, das Andreae so geändert hat, dass die von ihm erstrebte Wendung des humanistischen Denkens deutlich hervortritt. In den Tafeln 1 und 2 werden beweisbare Sätze (wie etwa, dass die Winkelsumme im Dreieck gleich zwei rechten Winkeln ist, oder dass Dreiecke und Parallelogramme mit gleicher Grundlinie und gleicher Höhe gleichen Flächeninhalt haben) als „Axiomata“ bezeichnet. Das Wort Axiom hat seine Bedeutung verschiedentlich gewandelt; hier wäre es vielleicht mit „allgemein anerkannte Aussage“ zu übersetzen. Die für die Geometrie, ihren wissenschaftstheoretischen Status und ihren Einfluss auf die sich herausbildende neuzeitliche Wissenschaft so entscheidenden Beziehungen zwischen Voraussetzung, Satz und Beweis interessieren Andreae offenbar nicht.

Die Tafel 32 zeigt die Planetensysteme von Kopernikus, Helisaeus Röslin, Tycho Brahe und Reimarus Ursus. Helisaeus Röslin war Leibarzt mehrerer Fürsten und Anhänger von Schwenckfeld; er führte mit Kepler einen Streit um das Jahr von Christi Geburt, in dem es indirekt auch um das Ende der Welt ging¹⁸. Reimarus Ursus hatte berechnet, dass der jüngste Tag vor 1670 kommen werde und hatte sich in einen Plagiatsstreit mit Tycho Brahe verwickelt. Es ist interessant, dass das Planetensystem von Ptolemaeus nicht aufgeführt wird; obwohl Mästlin sich hütete, das Kopernikanische System an der Universität zu lehren, war das Ptolemaeische System in Tübingen offenbar außer Diskussion.

Die Tafeln 98 und 99 zeigen Kreise und gerade Linien, die unverständlich sind. Andreae bemerkt dazu: „Die Gelehrten beschreiben uns diese Figuren, die zu erklären langwierig wäre; den in diesen Dingen Erfahrenen genügen die bloßen Abbildungen“¹⁹. Diese Figuren sind keineswegs Teile des Abschnitts über Geo-

¹⁶ „Wir leben in Christus; das Übrige ist des Todes.“

¹⁷ Es entstand offenbar aus „marmorea Aonii vincent monumenta libelli; vivitur ingenio, cetera mortis erunt“ (Elegiae in Maecenatem). Zur großen Verbreitung des Sprichwortes im 16. und 17. Jahrhundert vgl. CHRISTOPH GERHARDT: Die Tote und der Jüngling, Trier 2000, S. 31–32, Fußnote 32. Vgl. auch JAN BIAŁOSTOCKI: „Vivitur ingenio“, in: Poesis et Pictura. Studien zum Verhältnis von Text und Bild in Handschriften und alten Drucken. Festschrift für Dieter Wuttke, Hrsg. S. FÜSSEL & J. KNAPE, Baden-Baden 1989, S. 223–234

¹⁸ vgl. SUSANNE ÅKERMANN: Helisaeus Roeslin, the New Star, and the Last Judgement, in: Rosenkreuz als europäisches Phänomen im 17. Jahrhundert, Hrsg.: Bibliotheca Philosophica Hermetica, Amsterdam 2002, S. 333–359, und Granada: Helisaeus Röslin on the eve of the appearance of the nova of 1604, Sudhoffs Archiv 90, 2006, S. 75–96

¹⁹ „hasque nobis eruditi figuras describunt, quas explicare longum foret, illis verum qui rerum periti sunt, hae solae figurae sufficiunt“

metrie; sie haben auch keinerlei erkennbare geometrische Bedeutung. Unmittelbar vorher finden sich zwei Tafeln über den Menschen als „das vollkommenste Werk Gottes“²⁰; den Maßen des menschlichen Körpers komme daher eine besondere Bedeutung zu. Noahs Arche sei in Analogie zum menschlichen Körper hergestellt; wenn man Arme und Beine geeignet halte, ergebe sich ein vollkommenes Fünfeck bzw. ein Quadrat. Nach den Tafeln 98 und 99 werden die platonischen Körper vorgestellt. Man darf daher vermuten, dass es sich bei den Tafeln 98 und 99 um Symbole handelt; es könnte sich um Elemente handeln, aus denen Kreuze zusammengesetzt werden können²¹.

Es ist in gewisser Weise konsequent, dass Andreas Buch mit einem Labyrinth endet, nicht als mathematischem Problem, sondern als Sinnbild. In der Mitte des Labyrinths stehen die Worte „Vita nostra error“. Aus dem Irrtum, das unser Leben ist, möge uns Jesus befreien, – so der Text zu diesem letzten Bild.

Versuchen wir nun, uns dem Buch über das allgemeine Umfeld zu nähern. Die Humanisten hatten generell eine gewisse Wertschätzung für Mathematik gezeigt und ihre Tätigkeit war für die Entwicklung der neuzeitlichen Mathematik insofern bedeutsam, als sie die ersten brauchbaren Ausgaben von Euklid, Proklus, Diophant etc. auf lateinisch veröffentlichten und damit den Startpunkt für die europäische Forschung und Weiterentwicklung setzten. Bei den humanistischen Gelehrten des 16. und zu Anfang des 17. Jahrhunderts begann allmählich und in kleinen Schritten eine Entwicklung, die in Galilei, Descartes und ihren Nachfolgern kulminierte: Die alte Rangordnung der Wissenschaften nach der Würde ihres Gegenstandes wurde durch eine neue Rangordnung nach der Gewissheit der jeweiligen Erkenntnis ersetzt²². Infolgedessen fanden nicht so sehr einzelne Ergebnisse als vielmehr der *mos geometricus*, die mathematische Methode, zunehmende Wertschätzung. Es ist auffallend, dass gerade dieser Gesichtspunkt wie überhaupt die Existenz von Beweisen in der Geometrie bei Andreae keine Rolle spielt.

Im Luthertum hatte insbesondere Philipp Melanchthon wesentlichen Einfluss auf das Bildungswesen; die Universität Tübingen, an der später Kepler, Herzog August von Wolfenbüttel und Andreae studierten, wurde nach seinen Vorstellungen reformiert. Anders als beispielsweise Erasmus hat Melanchthon den Wert der mathematischen Wissenschaften im curriculum betont²³. Die Kenntnis der

²⁰ „absolutissimum Dei opus“

²¹ vgl. die Abbildungen in HARALD SCHOLTZ, *Evangelischer Utopismus bei Johann Valentin Andreae*, Stuttgart 1957, S. 32

²² HERMANN SCHÜLING: *Die Geschichte der axiomatischen Methode im 16. und beginnenden 17. Jahrhundert*. Hildesheim, New York 1969, S. 77, S. 111, S. 112

²³ CHARLOTTE METHUEN: *Kepler's Tübingen. Stimulus to a Theological Mathematics*. Aldershot, Brookfield, Singapore, Sidney 1998, S. 71

Mathematik hilft nach Melanchthon, Aristoteles zu verstehen²⁴, sie lehre aber auch, die Kraft von Beweisen zu schätzen²⁵. Darüber hinaus bilden die mathematischen Wissenschaften, vor allem die Astronomie, eine Grundlage für die Ethik, insofern die Astronomie zu einem besseren Verständnis der Ordnung führt, die auch in der menschlichen Gesellschaft vorhanden sein sollte. Die vorbereitenden Wissenschaften Arithmetik und Geometrie sind nach Melanchthon die Flügel des menschlichen Geistes, mit denen dieser sich zum Himmel erhebet. Aber selbstverständlich konnte die Botschaft des Evangeliums nicht durch solche menschlichen Bemühungen erlangt oder gar ersetzt werden²⁶.

Wenn dies den allgemeinen Rahmen umreißt, so lassen sich die Einflüsse auf den Studenten Andreae noch etwas konkretisieren. Michael Mästlin, der akademische Lehrer Keplers, unterstützte Andreae durch Bücher und Instrumente und sogar durch Privatunterricht²⁷. Wilhelm Schickard, den Erfinder der ersten Rechenmaschine, lernte Andreae als Tischgenossen am Tübinger Stift kennen²⁸. Matthias Hafenreffer, ein angesehener Theologe an der Universität Tübingen und mit Andreaes Eltern befreundet²⁹, verfasste eine Beschreibung des Tempels nach Hesekiel und hat in diesem Zusammenhang etwas über die Quadratur des Kreises veröffentlicht³⁰.

Hafenreffer fand im Grundriss des von ihm gedanklich rekonstruierten Tempels in Jerusalem einige Linien und Flächen, aus denen er den Durchmesser eines Kreises berechnete, der annähernd der Grundfläche des Tempels gleich ist. Es muss aber festgehalten werden, dass Hafenreffer keineswegs eine Flächenbestimmung des Kreises oder eine Berechnung von π durchführt. Vielmehr stützt er sich ausschließlich auf die Ergebnisse von Archimedes und Ludolph van

²⁴ HERMANN SCHÜLING: Die Geschichte der axiomatischen Methode im 16. und beginnenden 17. Jahrhundert. Hildesheim, New York 1969, S. 38

²⁵ Methuen, S. 73

²⁶ Methuen, S. 71. S. 73–79

²⁷ ANDREAE: Selbstbiographie, S. 20; Andreae: Gesammelte Schriften, Bd. 2, S. 164, S. 166. Für später vgl. auch Martin Brecht: J. V. Andreae und Herzog August zu Braunschweig-Lüneburg, Stuttgart, Bad Cannstatt, S. 252, S. 229

²⁸ ANDREAE: Selbstbiographie, S. 58. — Zu diesem Kontakt vgl. auch aaO. S. 88, S. 147; ANDREAE: Gesammelte Schriften, Band 2, S. 230 und SECK (Hrsg.): WILHELM SCHICKARD, Tübingen 1978, S. 18, S. 43–48, S. 100; WILHELM SCHICKARD: Briefwechsel, 2 Bände, Hrsg.: FRIEDRICH SECK, Stuttgart, Bad Cannstatt 2002, Bd. 1, S. 428, Bd. 2, S. 215–216, S. 238, S. 275, S. 278–279. — Schickards Exemplar von Andreaes *Collectanea Mathematica* wurde übrigens 1700 Leibniz leihweise zur Verfügung gestellt (LEIBNIZ: Sämtliche Schriften und Briefe, Reihe I, Bd. 18, S. 591).

²⁹ ANDREAE: Selbstbiographie, S. 49–51; Andreae: Gesammelte Schriften, Bd. 2, S. 56, S. 240.

³⁰ K. REICH & E. KNOBLOCH: Die Kreisquadratur Matthias Hafenreffers, in: Zwischen Copernicus und Kepler — M. MICHAEL MAESTLINUS, Hrsg.: Betsch/Hamel, Frankfurt/Main 2002, S. 157–183

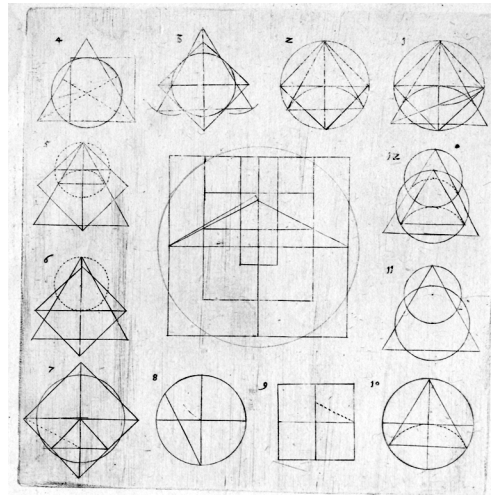


Abb. 2: Tafel 9 (Kreisquadraturen) von Andreae: *Collectanea Mathematica* (mit freundlicher Genehmigung der SLUB Dresden/Deutsche Fotothek, Rara, Math.155.mo).

Ceulen; seine eigene Leistung besteht nur in der Veranschaulichung der Beziehung von Kreisfläche und Quadratfläche an Hand des Grundrisses des Tempels. Für Hafenreffer ist dies ein bewunderswürdige Zusammenhang³¹. Seine Schlussworte lauten: „Du wirst mit mir diese in den Zahlen anlässlich der prophetischen Tempelstruktur aufgezeigten Geheimnisse fromm bewundern und hingebungsvoll deren Autor und den Architekten des gesamten Tempels von ganzem Herzen verehren.“³² Mästlin und Kepler³³ haben Hafenreffers Ergebnis positiv beurteilt, da sie ja Hafenreffers theologische Voraussetzungen weitgehend teilten.

Während Hafenreffer an dieser Veröffentlichung arbeitete, hat Andreae ihm assistiert³⁴. Hafenreffers Kreisquadratur wird auch in Andreaes *Collectanea Mathematica* als ein *sacrum inventum* erwähnt³⁵, allerdings ohne Hafenreffers Namen zu nennen und ohne dem Leser zu erklären, dass die Figur in der Mitte

³¹ REICH & KNOBLOCH, aaO. S. 180, S. 181, S. 183

³² aaO. S. 183

³³ Kepler stand über 25 Jahre im Briefwechsel mit Hafenreffer

³⁴ ANDRAE: Selbstbiographie, S. 51. Vgl. auch ANDRAE: Gesammelte Schriften, Band 2, S. 238

³⁵ Bl. B 1 recto, Tafel 9. Übrigens werden sowohl Hafenreffer als auch Mästlin in den *Collectanea Mathematica* im Zusammenhang mit der Astronomie erwähnt.

von Tafel 9 der Grundriss des Tempels in Jerusalem ist; auch hier wird also dem Leser die zum Verständnis entscheidende Information vorenthalten. In seiner Autobiographie berichtet Andreae auch, dass Hafenreffer ein Astrolabium, einen Quadranten und Sonnenuhren verfertigt habe³⁶. Andreae, der Hafenreffer seinen zweiten Vater nennt³⁷ und zeitweise auch in dessen Hause lebt, hatte also Gelegenheit genug zur Rezeption der Geisteshaltung, in der ein lutherischer Theologe Mathematik betrieb.

In einer seiner Schriften legt Andreae Hafenreffer grundsätzliche Ausführungen zum Wissenschaftssystem in den Mund, die zweifellos auch Andreaes eigene Meinung wiedergeben. Die Bibel enthalte die zentralen Punkte aller Künste und Wissenschaften. Überall solle man die Bibel zu Rate ziehen; dies gelte u.a. für Zeitmessung, Geographie, Baukunst, Musik, Physik, Arithmetik, Geometrie, Astronomie³⁸. Eben dies hat Hafenreffer ja bei der Bestimmung der Kreiszahl π getan. An derselben Stelle findet sich eine interessante Bemerkung zur Rolle der Wissenschaften für die Bildung des Menschen³⁹: Während die Sprachen die Hände des Gebildeten sind, mit denen er die Dinge ergreifen und behandeln kann, sind Naturgeschichte und Menschheitsgeschichte das Gehirn, die mathematischen Wissenschaften die Augen und die Frömmigkeit das Herz. Wir Heutigen hätten eher erwartet, dass die mathematischen Wissenschaften als die Hände bezeichnet würden. Und wäre es nicht naheliegender gewesen, die Theologie mit den Orientierung gewährenden Augen in Verbindung zu bringen? Offenbar haben Hafenreffer und Andreae dies anders gesehen. Die Sprachen sind deshalb die Hände, weil die zu ergreifenden Dinge immer zuerst als Texte gegeben sind⁴⁰. Und für Andreae ist eben nicht so sehr theologisches Wissen, als vielmehr die Frömmigkeit das Zentrum und der Kompass, so dass für die Augen zwar nicht diese Orientierungsfunktion verbleibt, wohl aber die Orientierung auf Nützlichkeit und die Fähigkeit Klarheit, Ordnung und vor allem Bewunderungswürdiges zu erkennen. Dem Menschen ist von Gott die Vernunft gelassen worden, damit er Gottes Werke bewundern könne und „in diesem weiten Theater, ins Anschauen versunken, herumspazierte und die Großtaten Gottes recht ermessen“⁴¹. Es han-

³⁶ ANDREAE: Selbstbiographie, S. 51

³⁷ ANDREAE: Gesammelte Schriften, Band 2, S. 236

³⁸ ANDREAE: Gesammelte Schriften, Bd. 2, S. 254. Vgl. auch Gesammelte Schriften, Bd. 5, Sentenz 152.

³⁹ ANDREAE: Gesammelte Schriften, Bd. 2, S. 244–258; vgl. auch DÜLMEN, S. 182–183 und BRECHT in SECK (Hrsg.): Wilhelm Schickard, Tübingen 1978, S. 44–46

⁴⁰ mit der Ausnahme der Maschinenkunde, die Andreae direkt von Handwerkern bezogen hat, vgl. ANDREAE: Selbstbiographie, S. 10, S. 66; ANDREAE: Gesammelte Schriften, Bd. 2, S. 32–33, S. 112, S. 248; BRECHT: Andreae und Herzog August, 2002, S. 265–266

⁴¹ ANDREAE: Civis Christianus, Straßburg 1619, S. 119, zitiert nach HARALD SCHOLTZ: Evangelischer Utopismus bei JOHANN VALENTIN ANDREAE, Stuttgart 1957, S. 40

delt sich nicht um begriffliche Klarheit und auch nicht um die Sicherheit der Erkenntnis: mir ist auch außerhalb der *Collectanea Mathematica* keine Stelle bekannt, an der Andreae sich für die Tatsache interessiert hätte, dass in der Geometrie Beweise möglich sind. Andreae erklärt Geometrie und Arithmetik für gleichermaßen bewundernswürdig, aber die Arithmetik, in der ja keine Beweise möglich sind⁴², sei tiefer und haben einen gewissen Geschmack von Heiligkeit; der Schöpfer habe ihr viele Geheimnisse übergeben⁴³. Andreaes Mathematik-Buch erinnert insofern an manche Alchemie-Bücher, als es offenbar vor allem darum geht, beim Leser Staunen, Bewunderung und die Ahnung von einem höheren Geheimnis hervorzurufen und zu diesem Zweck lediglich viele Bilder geboten werden, die sparsam und ziemlich unverständlich kommentiert werden⁴⁴. Andreaes *Collectanea Mathematica* ist keineswegs ein Lehrbuch, sondern ein Schau- und Vorführbuch: es zielt nicht auf mathematische Zusammenhänge ab, sondern auf das Hervorrufen von Stimmungen beim Leser, insbesondere von Bewunderung sowie Ehrfurcht und Staunen gegenüber einem Geheimnis.

Andreaes Interesse für Mathematik ist in der Sekundärliteratur wohlbekannt; er selbst hat sich sehr positiv zur Mathematik geäußert. Er hat die Mathematik zwar nicht, wie behauptet wurde, als Königin der Wissenschaften bezeichnet, sondern nur als Königin der gemeinhin als schmutzig betrachteten Künste⁴⁵. Aber wenn man die mathematischen Wissenschaften den Menschen entzöge, dann wären sie nach Andreae nur noch Vieh⁴⁶. In einem Brief an Herzog August von Wolfenbüttel geht er sogar so weit, einen Menschen ohne Kenntnis der mathematischen Wissenschaften als einen Halbmenschen zu bezeichnen⁴⁷. Vermutlich sind damit aber nur diejenigen Kenntnisse gemeint, die man beim Studium an der Philosophischen Fakultät erwarb, denn schwerlich kann Andreae beispielsweise in Martin Luther einen Halbmenschen gesehen haben. Der Erwerb von Mathematik-Kenntnissen soll auch für die Ausbildung der Urteils-

⁴² Die von Viète eingeführte Buchstabenrechnung war zwar schon 1591 veröffentlicht, aber Andreae nicht bekannt

⁴³ ANDREAE: *Collectanea Mathematica*, Bl. B 1 recto

⁴⁴ vgl. z.B. STOLTZIUS VON STOLTZENBERG: *Chymisches Lustgärtlein*, Frankfurt/Main 1624 (Reprint Darmstadt 1975)); das Buch hat 107 Kupferstiche, die jeweils mit einem kurzen Gedicht erläutert werden. Dem Titelblatt zufolge geht es um Vergnügen und tiefere Betrachtung der Dinge; nach der Vorrede soll dem Leser mit diesem Buch das Lesen dicker Bücher erspart werden, — ebenso wie Andreae es für sein Buch erklärt.

⁴⁵ DÜLMEN, S. 182, S. 259

⁴⁶ ANDREAE: *Gesammelte Schriften*, Bd. 2, S. 246. Vgl. auch ANDREAE: *Collectanea Mathematica*, Bl. A 2 recto

⁴⁷ MARTIN BRECHT: J. V. Andreae und Herzog August zu Braunschweig-Lüneburg. Ihr Briefwechsel und ihr Umfeld. Stuttgart – Bad Cannstatt 2002, S. 170: „Sine Mathesi homo mihi semi-homo tantum videtur.“

kraft nützlich sein⁴⁸. Andreae besaß (zumindest in späteren Jahren) ein fünf-bändiges mathematisches Werk von Christopher Clavius⁴⁹, aber seine mathematischen Kenntnisse bleiben doch weit hinter dem zurück, was man aus diesem Buch hätte lernen können.

Auch in Andreaes *Christianopolis* wird die Bedeutung der Mathematik hervorgehoben. Ohne Kenntnis der Mathematik sei man nur ein Halbgelehrter⁵⁰. Wer die Rechenkunst nicht versteht, kann nicht im Ratsherrenkleid einhergehen⁵¹. Was aus Zahlen besteht, hat etwas Göttliches⁵². Unter der Überschrift „Von geheimen Zahlen“ wird ausgeführt, dass Gott alles nach Maß, Zahl und Gewicht geordnet habe; bei der Erforschung dieser Geheimnisse müsse man aber Zurückhaltung üben⁵³. Die Einwohner von Christianopolis treiben Astronomie und Astrologie, die beide hoch zu schätzen sind⁵⁴.

Es wird sogar von drei eigenen Kreisquadraturen Andreaes berichtet. Dies stützt sich auf eine unveröffentlichte Handschrift *Cyclometria seu Quadraturarum Circuli Semi-Centuria* des Arztes und Astronomen Daniel Mögling⁵⁵. Mögling, der aus seiner Studienzeit mit Andreae bekannt war und der später durch Schriften zur Verteidigung des Rosenkreuzertums hervorgetreten ist, hatte die Handschrift 1627 einem hessischen Landgrafen überreicht. Außer Viète und Ludolph van Ceulen werden auch „Kreisquadraturen“ von Besold, Hafenreffer, Schickhard und Mögling selbst vorgestellt. Andreas drei „Kreisquadraturen“ sind offenbar etwas nähere Ausführungen von unverständlichen Stellen in Andreaes *Collectanea Mathematica*, aber auch die Ausführungen in Möglings Handschrift bleiben recht dunkel. Überhaupt stimmt Möglings Handschrift mit Andreaes Buch auch insofern überein, als beide sehr wenig Text enthalten. Es scheint kaum möglich, dass der Landgraf die *Cyclometria* hätte verstehen können. Man gewinnt den Eindruck, dass dies auch gar nicht beabsichtigt war; ebenso wie in Andreaes Buch dürfte es eher um die Andeutung und Veranschaulichung von Geheimnissen und Harmonien gegangen sein.

Der scheinbar uneingeschränkten Bejahung der mathematischen Wissenschaften durch Andreae stehen immer wieder – und zwar mehr oder weniger zur glei-

⁴⁸ ANDREAE: Gesammelte Schriften, Bd. 2, S. 268. Zur Wertschätzung der Mathematik vgl. auch ANDREAE: Gesammelte Schriften, Bd. 16, S. 261.

⁴⁹ BRECHT, S. 251

⁵⁰ JOHANN VALENTIN ANDREAE: *Christianopolis* 1619, S. 122–123

⁵¹ aaO. S. 144–145

⁵² aaO. S. 192–193

⁵³ aaO. S. 146–149

⁵⁴ aaO. S. 156–157

⁵⁵ Hessische Landes- und Hochschulbibliothek Darmstadt, Hs. 1651

chen Zeit – scharf kritische Bemerkungen gegenüber. So schreibt Andreae: „Denn nicht in ein solches Zeitalter sind wir geraten, wo die Wissenschaften der Macht und besonders der Ehre Christi dienen würden, oder deren Repräsentanten von weltlichem Schmutz rein wären,“⁵⁶. Nach Andreae bläht die Wissenschaft auf, und es sollte keine Berufswissenschaftler geben⁵⁷. Das Forschen nach Wissen sollte nur innerhalb gewisser Grenze betrieben werden; man sollte nicht nach dem Gipfel streben⁵⁸. Die richtige Gelehrsamkeit ist sehr nützlich, aber die Weisheit Gottes erübrigt alle menschliche Weisheit⁵⁹.

Alles Wissen, das Gott nicht kennt, wird verwirrt werden⁶⁰. Der von Blumenberg⁶¹ untersuchte Wandel im Verständnis der Neugier findet Andreae auf der Seite des traditionellen Denkens: Kein Zeitalter sei neugieriger als das jetzige, aber nur der Müßige ist neugierig⁶². Die letztlich doch immer wieder auf das Weltliche gerichtete *curiositas* der Gelehrten ist grundsätzlich verfehlt⁶³; in dieser These liegt wohl das eigentliche Motiv für Andreaes Abwendung vom Rosenkreuzertum. Andreae warnt davor, aus Bewunderung für das gelehrte Zeitalter zum Frevler zu werden⁶⁴; „wer am meisten zu wissen vermeint, weiß am wenigsten“ und an anderer Stelle: „Willst du etwas Nützliches lernen: lerne das Nichtwissen zu lieben und Wissen für nichts zu achten“⁶⁵. Letztlich ist es die höchste Weisheit, nicht auf die menschliche Vernunft zu hören⁶⁶, denn die Vernunft widerspricht Gott immer⁶⁷. Christus lässt uns nur dann der Weisheit, Klugheit und Wissenschaft nahen, wenn sie uns zur Sorge um die Ewigkeit drängen⁶⁸. Nach Galilei erkennt der menschliche Verstand die Wahrheiten der Mathematik in der gleichen Vollkommenheit wie Gott; der Unterschied ist quantitativ, insofern er unendlich mehr Wahrheiten erkennt als der Mensch⁶⁹. Indem

⁵⁶ Rosenkreuz als europäisches Phänomen im 17. Jahrhundert, Hrsg.: Bibliotheca Philosophica Hermetica, Amsterdam 2002, S. 117, Übersetzung von Schmidt-Biggemann. Lateinisches Original: *Invitatio fraternitatis Christi*, Straßburg 1617, S. 40

⁵⁷ ANDRAE: Gesammelte Schriften, Bd. 5, Sentenzen 800 und 535

⁵⁸ aaO. Sentenzen 553 und 755

⁵⁹ aaO. Sentenzen 537 und 109

⁶⁰ ANDRAE: Gesammelte Schriften, Bd. 5, S. 106

⁶¹ HANS BLUMENBERG: *Der Prozeß der theoretischen Neugierde*, Frankfurt/Main 1966

⁶² ANDRAE: Gesammelte Schriften, Bd. 5, S. 130

⁶³ DÜLMEN, S. 105–111

⁶⁴ ANDRAE: Gesammelte Schriften, Bd. 7, 114

⁶⁵ ANDRAE: Gesammelte Schriften, Bd. 7, 268, S. 284

⁶⁶ ANDRAE: Gesammelte Schriften, Bd. 5, S. 270; Bd. 7, S. 38, S. 100

⁶⁷ ANDRAE: Gesammelte Schriften, Bd. 16, S. 266

⁶⁸ ANDRAE: Gesammelte Schriften, Bd. 7, S. 208

⁶⁹ G. GALILEI: *Dialog über die beiden hauptsächlichen Weltsysteme*, Hrsg.: R. SEXL & K. VON MEYENN, Darmstadt 1982, S. 108

Andreae kein Wort über die beweisende Erkenntnis der Mathematik verliert, bezieht er hier gewissermaßen (*avant la lettre*) die Gegenposition zu Galilei.

Gibt es Vergleichbares zu Andreaes Buch in der Geschichte der Mathematik? Sicher gibt es zahlreiche Anwendungen der Mathematik auf biblische oder theologische Fragen⁷⁰; es gibt Versuche, das Ende der Welt zu berechnen, und es wird sogar versucht, die Glaubwürdigkeit der Bibel mathematisch zu berechnen⁷¹. Natürlich spielt die (schon ältere) Bestimmung Gottes als Geometer eine außerordentliche Rolle im 17. und 18. Jahrhundert. Unter dem Gesichtspunkt intensiver Frömmigkeit wäre der Jansenismus zu erwähnen; Pascal sucht gerade umgekehrt den Gott Abrahams, Isaaks und Jakobs und nicht den Gott der Philosophen und Gelehrten⁷². Der jansenistische Theologe Antoine Arnauld veröffentlicht 1667 *Nouveaux Elemens de Geometrie*; das Buch bringt keine neuen Forschungsergebnisse, ist aber ein ernstzunehmendes Lehrbuch, das sich schon insofern stark von Andreaes Buch unterscheidet. Ich erwähne Arnaulds Buch hier nur wegen seines anonymen Vorworts.

Dieses Vorwort zeigt eine bemerkenswerte Skepsis gegenüber der Geometrie. Es sei kein großes Übel, kein Geometer zu sein, aber es sei ein beträchtliches Übel, die Geometrie für etwas Schätzenswertes zu halten und sich selbst zu schätzen, weil man sich den Kopf mit Linien, Winkeln, Kreisen und Proportionen gefüllt habe. „Es ist eine schändliche Unwissenheit, nicht zu wissen, dass diese unfruchtbaren Spekulationen nichts dazu beitragen, uns glücklich zu machen, dass sie keineswegs unser Elend erleichtern, dass sie unsere Krankheiten nicht heilen, dass sie uns keine wirkliche Zufriedenheit geben können, dass der Mensch dafür nicht gemacht ist, und dass diese Wissenschaften, weit entfernt, ihn zu erheben, vielmehr Beweise der Niedrigkeit seines Geistes sind“⁷³. Dies ist nicht die traditionelle Geringschätzung der Mathematik vom Standpunkt der Philosophie, sondern eine Abwertung der Wissenschaft vom Standpunkt intensiver Frömmigkeit, wohl auch eine Wiederholung einiger der Gedanken,

⁷⁰ S. REYHER: *Mathesis Mosayca*; vgl. auch *Mathematics and the Divine*, Hrsg.: KOETSIER & BERGMANS, Amsterdam, Boston etc. 2005

⁷¹ Breger: *Mathematik und Religion in der frühen Neuzeit*, *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 18, 1995, S. 151–160

⁷² W. SCHMIDT-BIGGEMANN: *Blaise Pascal*, München 1999, S. 21

⁷³ ARNAULD, aaO. Bl. A II verso: „Ce n'est pas un grand mal que de n'estre pas Geometre; mais c'en est un considerable que de croire que la Geometrie est une chose fort estimable. et de s'estimer soy même pour s'estre rempli la teste de lignes, d'angles, de cercles, de proportions. C'est une ignorance tres blâmable que de ne pas sçavoir, que toutes ces speculations steriles ne contribuent rien à nous rendre heureux; qu'elles ne soulagent point nos miseres; qu'elles ne guerissent point nos maux; qu'elles ne nous peuvent donner aucun contentement réel et solide; que l'homme n'est point fait pour cela, et que bien loin que ces sciences luy donnent sujet de s'élever en luy même, elles sont au contraire des preuves de la bassesse de son esprit;“

die Pascal nach seinem Bekehrungserlebnis gehabt hat. Auch einige weitere Bemerkungen in diesem Vorwort lassen an Pascal denken: Man befasse sich mit Geometrie, als ob es sich um wichtige Dinge handle; man mache seine hauptsächlichste Beschäftigung daraus und rühme sich der Entdeckungen, die man gemacht habe. Man glaube, man verpflichte sich die Welt, wenn man etwas davon mitteile⁷⁴. Immerhin wird zugestanden, dass die Geometrie die Grundlage vieler für das menschliche Leben notwendiger Künste sei. Und in der Erziehung von Kindern und Jugendlichen könne die Geometrie nützlich sein, weil sie den Geist von der Bindung an das Sinnliche abziehe und damit das Lernen der Wahrheiten des Christentums erleichtere⁷⁵. Das mahnende Vorwort und der Inhalt von Arnaulds Buch stehen ohne Beziehung nebeneinander. Bei Andreae dagegen fließen Frömmigkeit und Mathematik ineinander, wobei die Mathematik Schaden nimmt.

⁷⁴ aaO. Bl. A II verso, Bl. A III recto

⁷⁵ A III recto – A IV recto

Alexanders II. von Pappenheim Reise nach Rom und Jerusalem (26.03.1563-30.01.1564)

HEIMO REINITZER

Universität Hamburg, Institut für Germanistik I
Von-Melle-Park 6, D-20146 Hamburg

Spätmittelalterliche Reisen ins Heilige Land wurden als ein ‚gutes, verdienstliches Werk‘ verstanden, und waren daher geprägt vom Wunsch nach Ablass, nach möglichst vollständiger Vergebung aller Sünden, nach Befreiung von allen Strafen, die in der Hölle bis zum Urteil im Jüngsten Gericht erwartet wurden.

Im Reisebericht Alexanders II. von Pappenheim (1530-1612) begegnet das Wort ‚Ablass‘ nicht, Anlaß genug, um nach den Absichten zu fragen, mit denen in der 2. Hälfte des 16. Jahrhunderts ein katholischer, vom Geist der Reformation aber nicht unbetroffener Adeliger nach Rom und ins Heilige Land aufbrach.

Alexanders Reise war Kavalierstour, dies aber nicht allein und nicht zuvörderst. Nach eigenem Bezeugen nahm der militärisch erfahrene Mann die Gefahren auf sich, um damit seine Mutter, Anna von Hürnheim, und seine Freunde ‚zu verehren‘. Die Reise war zu allererst ein öffentliches, sichtbares Bekenntnis zum katholischen Glauben der Vorfahren und zu katholischen Verwandtschaft.

Auf der Reise, die Alexander über Mailand, Genua, Bologna, Florenz, Siena nach Rom, weiter nach Neapel und zurück über Rom nach Venedig, von dort über Kreta und Zypern nach Jerusalem und wieder zurück nach Venedig führte, findet die Wahrnehmung von Festungsbauten, militärischen Ereignissen, zunehmend aber auch von landschaftlichen Schönheiten, architektonischen Sehenswürdigkeiten, Kunstgegenständen und Antiquitäten Ausdruck. Dieser ist nüchtern und formelhaft gestaltet, vermag aber durchaus einen Eindruck von der Persönlichkeit des Autors zu geben. Alexanders Interesse galt in Italien den modernen, oft erst im Entstehen begriffenen Renaissancebauten, im Venedig der Weihnachtszeit schließlich der mehrstimmigen Musik, die eine tiefe Wirkung auf ihn ausübte.

Alexander war von Adel und bewegte sich selbstbewußt unter seinesgleichen, Bischof, Kardinal oder Papst sind zu allererst (höherrangige) Standesgenossen

* Kurzfassung des am 12.10.2007 in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

und dann erst kirchliche Würdenträger. Besondere Aufmerksamkeit widmete er Monumenten (Inschriften, Graffiti, Grabdenkmälern), die von seinen reisenden Vorfahren und Verwandten Auskunft gaben.

Alexanders Blick mutet oft und oft subjektiv und kritisch an, die Kritik richtete sich aber nie gegen (sichtbare) Glaubenstatsachen der eigenen Kirche, nur gegen einen Wunderglauben, der schon im Mittelalter in Zweifel gezogen worden war. Kritisch und ablehnend, fast feindselig äußerte sich Alexander nur dort, wo ihm griechisch-orthodoxe Geistliche begegneten.

Diese Feindseligkeit hatte Tradition, wie auch der Umgang mit den Muslimen traditionell feindselig war.

Der Reisebericht hat eine Besonderheit darin, dass er auch in einem Epitaphbild für die Eltern Alexanders 1567 Niederschlag gefunden hat. Das Bild macht auf seine Weise nochmals den Hauptzweck der Reise deutlich: Sie war katholisches Glaubensbekenntnis in einer Familie, deren Mitglieder auch Lutheraner und Reformierte geworden waren.

Der Reisebericht Alexanders ist in 3 bisher bekannt gewordenen Handschriften überliefert, im Cod. 164 der Gießener Universitätsbibliothek, im Cod. Geogr. 56 der SUB Hamburg und im Cgm 5788 der Bayerischen Staatsbibliothek in München. Während die beiden ersten Codices Reiseberichte sammelte, stammt der Münchener Codex aus dem Stift Kempten. Er wurde 1612 geschrieben, enthält eine Autobiographie, in die der Reisebericht inseriert ist, das Testament und ein Widmungsschreiben an den Abt des Stiftes, dessen Schüler Alexander 1538-1544 war.

Die kritische und kommentierende Edition des Reiseberichtes folgt der ältesten Abschrift, dem Gießener Codex, nimmt aber auch die Autobiographie nach der Münchener Hs. auf. Die Edition, an der die Teilnehmer meines Hamburger Oberseminars mitwirken, steht vor dem Abschluß und wird voraussichtlich 2009 in den ‚Beiträgen zu Kultur und Geschichte von Stadt, Haus und ehemaliger Herrschaft Pappenheim‘ erscheinen.

**FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG
04. MAI 2007
ÖFFENTLICHE WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE**

***Virtual Engineering: Informations-, Simulations- und
Kooperationsmodelle für den ingenieurgerechten
Entwurfsprozess* ***

ERNST RANK, ANDRÉ BORRMANN UND PETRA WENISCH

Lehrstuhl für Computation in Engineering – Bauinformatik
Technische Universität München, Arcisstraße 21, D- 80290 München, Germany
E-mail: rank@bv.tum.de

Entwurfsprozesse in den Ingenieurwissenschaften finden in aller Regel nicht linear sondern in rückgekoppelten Zyklen stattfinden. Dabei spielt *Kommunikation und Kooperation* eine entscheidende Rolle, zumal der Entwurf komplexer technischer Produkte nahezu immer in multidisziplinären Teams zu erfolgen hat. Neuere Entwicklungen im Bereich der Produkt- und Prozessmodelle sowie der Anbindung von Höchstleistungscomputern ermöglichen es heute, selbst für komplexe Simulationsaufgaben eine direkte Interaktion des Ingenieurs mit dem Modell sogar während der Berechnung zu erlauben und auf diese Weise diesen Rückkopplungsprozess deutlich zu beschleunigen. Noch einen Schritt weiter gehen so genannten *Computational Steering* Systeme, welche die Zusammenarbeit von Ingenieurteams über schnelle Computernetze durch gemeinsame ‚virtuelle Projekträume‘ unterstützen. Der Aufsatz gibt einen Überblick über neuere Entwicklungen von computergestützten Informations-, Simulations- und Kooperationsmodellen im Bau- und Umweltingenieurwesen und zeigt Beispiele zu einer netzgestützten Simulation der Luftströmung in Innenräumen.

1. Einleitung

Der Bauingenieur Konrad Zuse (ALEX, 2000) war in den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts neben John von Neumann (MACRAE, 1994) der entschei-

* Der Vortrag wurde am 04.05.2007 beim Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

dende Wegbereiter für die Entwicklung elektronischer Rechenanlagen. 1941 stellte er den ersten funktionsfähigen programmgesteuerten Rechenautomaten Z3 fertig. Seine wissenschaftlichen Wurzeln im Bauingenieurwesen sind sicherlich kein Zufall. Kaum eine andere Ingenieursdisziplin ist historisch so eng mit einer zuverlässigen Modellierung physikalischer Phänomene und mit daraus abgeleiteten komplexen Berechnungsverfahren verbunden wie die (Bau-) Mechanik. So gehörten strukturmechanische Berechnungsmethoden zu den ersten Anwendungsfeldern der Computertechnologie. Bauingenieure haben die neuen Möglichkeiten elektronischer Rechenanlagen nicht nur sehr schnell genutzt sondern auch selbst entscheidende Impulse zur Entwicklung von numerischen Simulationsverfahren gegeben. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Methode der finiten Elemente (ZIENKIEWICZ & TAYLOR, 2000; WRIGGERS, 2001), die heute einen sehr hohen Entwicklungsstand erreicht hat und nicht nur in weiten Bereichen des Bauingenieurwesens erfolgreich eingesetzt wird (MANG, 1995, MANG et al., 2003a,b; WRIGGERS, 1998, DÜSTER et al., 2001; RANK et al., 2005). Ohne dieses Verfahren wären heute viele moderne Entwicklungen weder im Automobilbau noch in der Luft- und Raumfahrttechnik oder der Medizintechnik (RIFAI et al., 1999; BAZILEVS et al., 2006) möglich. Gegenwärtig werden diese Verfahren auch unter Einsatz von Hochleistungsrechnern mit dem Ziel fortentwickelt, komplexe physikalische Vorgänge und deren Wechselwirkungen für natürliche Systeme auf vielen Zeit- und Raumskalen zu simulieren (LACKNER et al., 2004; ZOHDI & WRIGGERS, 2005). Aber auch nichtnumerische computergestützte Verfahren spielten und spielen im Bauingenieurwesen eine zentrale Rolle. Erwähnt seinen CAD-Methoden (MEIßNER et al., 1992; RÜPPEL & MEIßNER, 1996), die in den siebziger Jahre frühe Anwendungen im Bauwesen gefunden hatten und ihrerseits die Entwicklung grafischer Kernsysteme und der dazu geeigneten Hardware beeinflussten. Auch internet-gestützte Kommunikation auf der Basis technischer Fachsysteme wurde bereits in den achtziger und frühen neunziger Jahren in weltweit operierenden Bauunternehmungen (BEUCKE et al., 1990) erfolgreich eingesetzt.

Heute zeichnen sich neue Möglichkeiten des IT-Einsatzes im Bau- und Umweltingenieurwesen ab. Die Einführung von (Bauwerks)-Produktmodellen erlaubt eine ganzheitliche Sicht auf geometrische, sächliche und organisatorische Aspekte eines Bauwerks und ist damit eine Voraussetzung für ein Datenmodell, das grundsätzlich den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks begleiten und unterstützen kann. Es stellt den Ausgangspunkt dar, der in vielen Phasen von Bauwerksplanung, Erstellung und Betrieb als Informationsbasis für Simulationsaufgaben unterschiedlichster Art genutzt werden kann. Immer leistungsfähigere Hardware erlaubt es, dafür notwendige numerische Verfahren in interaktive Systeme einzubetten, die es dem Benutzer besser als bisher erlauben, sehr schnell und intuitiv technisch-wissenschaftliche „Wenn-Dann“-Analysen durchzuführen und dadurch zu optimierten Lösungen zu kommen. Eine Einbettung in internet-gestützte, virtuelle Projekträume stellt schließ-

lich die Brücke zu Kooperationsmethoden dar, die in global verteilten Projektteams eine wachsende Rolle spielen, deren Potential heute aber noch kaum abzuschätzen ist.

2. IT-gestützte Kooperation und Kommunikation

Im Bereich so genannter *Office-Anwendungen* hat IT-gestützte Kooperation und Kommunikation in den letzten zehn Jahren einen hohen Stand der Technik erreicht. So ist es heute möglich, nahezu ortsunabhängig mit den verschiedensten Endgeräten unterschiedliche Medien (Text, Bild, Video, Ton) zu nutzen, auf *gemeinsame* Datenbestände zuzugreifen und diese interaktiv zu verändern. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen synchroner (z.B. Telefon, Video-konferenzen) und asynchroner Kommunikation (Email, „Wikis“, siehe z.B. www.wikipedia.de). Rechnergestützte Kooperation nutzt Kommunikation, um in einem Team einen gemeinsamen Planungsgegenstand zu bearbeiten und ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Es ist dabei von entscheidender Bedeutung, dass der gemeinsame Datenbestand, selbst wenn er nicht zentral an einem Ort vorliegt, sondern im Netz verteilt ist, konsistent und in der für die jeweils eigene Teilaufgabe notwendigen Sicht für jeden Kooperationspartner verfügbar ist. Wichtige Entwicklungen, die diese Kooperation und Kommunikation unterstützen sind so genannte *Collaboration Platforms* (z.B. Microsoft Sharepoint, Lotus Collaboration Platform, Oracle Collaboration Suite), die heute in zahlreichen kommerziellen und nicht-kommerziellen Software-Varianten verfügbar sind.

Wesentlich schwieriger als bei vergleichsweise simplen Office-Anwendungen ist die Unterstützung rechnergestützter Kooperation für Berechnungs- und Planungsprozesse in den Ingenieurwissenschaften. Dies folgt bereits aus der Softwarestruktur von Simulationsverfahren z.B. in der Struktur- oder Fluidmechanik, die in aller Regel zwischen drei Bearbeitungsstufen unterscheidet (siehe Abb. 1): Im *Preprocessing* wird ein i.a. geometrisches Modell der zu untersuchenden Struktur meist interaktiv erstellt und die für die Berechnung notwendigen physikalischen Daten definiert. Dazu gehören Materialparameter,

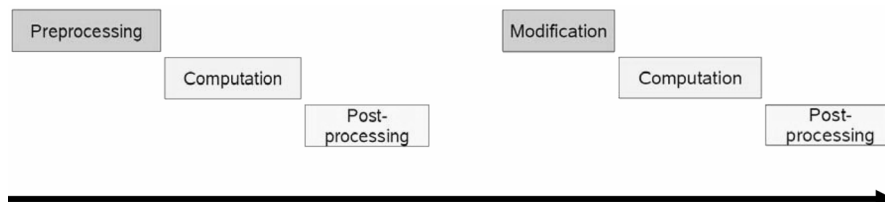


Abb. 1: Drei Phasen der Numerischen Simulation: Preprocessing, Computation, Postprocessing.

Randbedingungen, Belastungen für strukturelle Berechnungen oder Ein- und Ausströmbedingungen für eine strömungsmechanische Untersuchung. Von großer Bedeutung (und in der Regel verbunden mit großem Aufwand) ist dann die Erzeugung eines Berechnungsnetzes oder -gitters. Für diesen Schritt stehen zwar durchaus leistungsfähige Netzgeneratoren zur Verfügung. Trotzdem gehört es zur industriellen Praxis, dass dieser Schritt oftmals mit tage- oder sogar wochenlanger Ingenieurarbeit verbunden ist.

Auf das *Preprocessing* folgt die eigentliche *Computation*-Phase, in der zumeist im *Batch*-Betrieb, also ohne Interaktion mit dem Benutzer die eigentliche Berechnung durchgeführt wird. Für die meisten strukturellen Simulationen im Bauingenieurwesen reicht die Leistung eines handelsüblichen PCs, um die Ergebnisse in Minuten bis wenigen Stunden zu erhalten. Die in der Regel wesentlich aufwändigeren fluidmechanischen Berechnungen verlangen bei vertretbarem Zeitaufwand oft den Einsatz von Rechenclustern, also die parallele Bearbeitung durch mehrere Einzelrechner oder gar die Verwendung von Höchstleistungsrechnern (LRZ¹, HLRB).

Das *Postprocessing*, also die Auswertung der Daten und die daran gebundene ingenieurmäßige Interpretation der Ergebnisse findet dann wieder interaktiv statt. Technisch-wissenschaftliche Anwendungen können dabei heute von der stürmischen Entwicklung im *Consumer*-Bereich („Spiele-Software“) profitieren. Ohne die dort entstandene Nachfrage wäre die heute auch für Ingenieurapplikationen verfügbare grafische Hard- und Software niemals entwickelt worden.

In aller Regel ist nach der Ergebnisinterpretation eine Modifikation oder Verfeinerung des Entwurfs bzw. die Anpassung von Parameter durchzuführen, so dass der beschriebene Prozess nicht einmal, sondern in mehreren Zyklen zu durchlaufen ist. Auch sind bei industriellen Projekten parallel von mehreren Bearbeitern zum Teil ähnliche oder auch völlig anders gelagerte Simulationen aufzugeben zu bewältigen (*concurrent engineering*, z.B. (PRASAD, 1995; ANUMBA, 2006)) Aus dieser heute üblichen Struktur der Dreiteilung numerischer Simulation in die Phasen *Preprocessing*, *Computation* und *Postprocessing* sowie aus der Nebenläufigkeit des Planungsprozesses folgt unmittelbar ein erhebliches Problem für die oben geschilderte computergestützte Kooperation. Selbst wenn Berechnungsergebnisse in einen zentralen Datenbestand zurückgespeichert werden, droht aufgrund der *langen Transaktionen* zwischen Beginn des *Preprocessings* und Rückspeicherung zum Ende des *Postprocessings* die Inkonsistenz der Daten. Eine sehr aufwändige Synchronisation ist nötig. Auch sind Pre- und Postprozessoren in der Regel so aufgebaut, dass sie zwar die Interaktion mit *einem* Benutzer erlauben, ein verteiltes, netzgestütztes Arbeiten im Team aber nicht unterstützen.

¹ <http://www.lrz-muenchen.de/service/compute/hlrb/hardware.html>

An diesen Defiziten setzen Forschungsarbeiten an, die in den letzten Jahren am Lehrstuhl für Bauinformatik der Technischen Universität München durchgeführt wurden. Als gemeinsamer Datenbestand wird ein umfassendes Produktmodell für Bauwerke verwendet, von dem Simulationsmodelle für verschiedene Anwendungsbereiche abgeleitet werden. In (NEUBERG et al., 2002; VAN TREECK et al., 2007; WASSOUF et al., 2006) sind bauphysikalische Anwendungen beschrieben, (ROMBERG et al., 2004) setzen sich mit strukturellen Fragen auseinander und (BORRMANN et al., 2006; BORRMANN, 2007; WENISCH et al., 2007; VAN TREECK et al., 2007; WENISCH, 2008) befassen sich mit interaktiven Systemen zur Strömungssimulation, wobei insbesondere Innenraumströmungen im Vordergrund stehen. Diese Ansätze werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

3. Ein Kollaborationsmodell für den ingenieurgerechten Entwurfsprozess

Ausgangspunkt des Kollaborationsmodells ist das so genannten *Computational Steering*, in dem die Trennung der drei Phasen Preprocessing, Computation und Postprocessing überwunden wird. Für komplexe Simulationsaufgaben ist diese Integration nur möglich, wenn die (oftmals aufwändige) Berechnungsphase so schnell durchgeführt werden kann, dass eine Reaktion des *Steering*-Systems quasi in Echtzeit möglich ist. Einige jüngst entwickelte Systeme nutzen als Nutzerschnittstelle *Virtual Reality* Methoden und erreichen dadurch einen besonders hohen Grad an Interaktivität (RANTZLAU & LANG, 1998). Die von uns entwickelte *Collaboration Platform* (Abb. 2) wurde so entworfen, dass sie es mehreren Benutzern erlaubt, gleichzeitig mit dem *Computational Steering* System zu interagieren. Zentral ist der Kollaborationsserver, der die Verwaltung der Nutzer und des geometrisch-numerischen Modells übernimmt, für die verteilte Bearbeitung im Netz verantwortlich ist, Nebenläufigkeitskontrolle gewährleistet und alle Simulations-

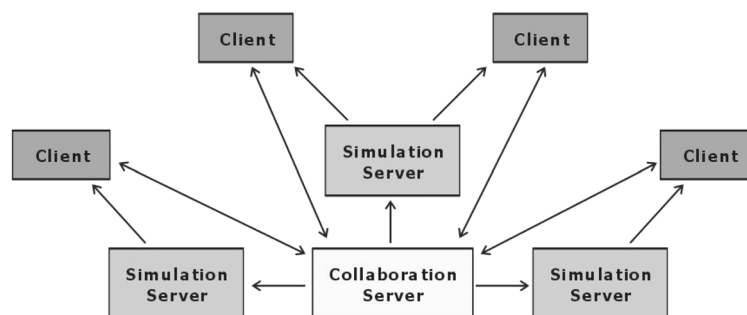


Abb. 2: Collaborative Computational Steering Plattform.

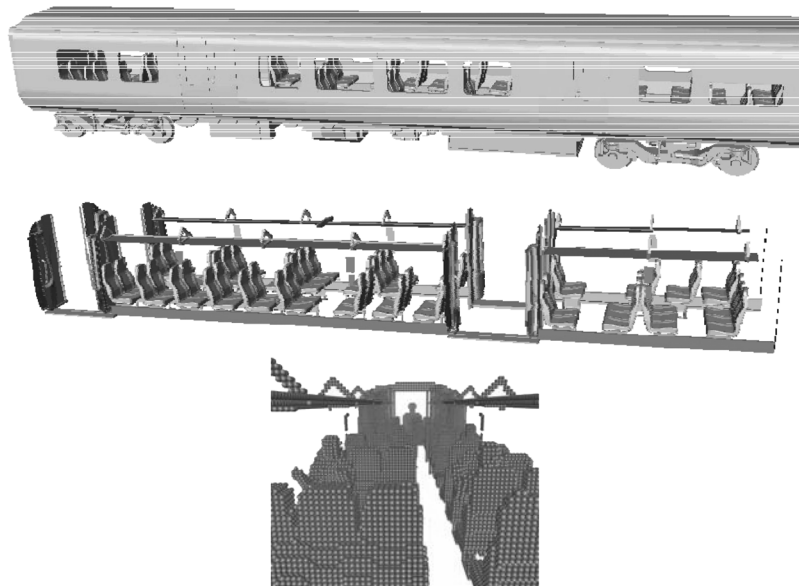


Abb. 3: Diskretisierung eines Wagon-Innenraums. a,b: Außenhaut und Innenstruktur. c: „Voxel“-Modell der Innenstruktur. (Kooperation mit SIEMENS AG, München).

kenngrößen koordiniert. Über diesen Server kann jeder Nutzer Änderungen am Modell vornehmen, die dann quasi in Echtzeit allen anderen Kooperationspartnern über ihre jeweilige Interaktions- bzw. Visualisierungsschnittstellen, den *Clients* sichtbar werden. Neben dem Kollaborationsserver sind die Simulationsserver wesentlich, die auf das gemeinsame Modell zugreifen und unterschiedlichste Simulationaufgaben übernehmen können.

Grundsätzlich können diese von einfachen Massenberechnungen bis zu komplexen struktur- oder strömungsmechanischen Simulationen gehen. Wesentlich ist, dass die Nutzer des Systems verschiedenartige Endgeräte verwenden können und dass damit wie bei den oben diskutierten Office-Systemen große Flexibilität gewährleistet ist. Während als Simulationsserver in der Regel sehr leistungsfähige Hardware bis hin zu Höchstleistungsrechnern eingebunden wird, können als Clients Laptops, Desktop-Computer oder bei Verfügbarkeit auch Spezialhardware mit Virtual-Reality-Fähigkeit genutzt werden. Von zentraler Bedeutung zur Erreichung des Ziels einer interaktiven Simulation ist sowohl das zu verwendende numerische Verfahren als auch die Möglichkeit einer effizienten, sehr schnellen Generierung eines Berechnungsgitters, die möglichst keinerlei Eingriff des Benutzers erfordert und ‚in Echtzeit‘ auf Veränderungen des geometrischen Modells reagieren kann. Als numerischer Kern wurde das

Lattice-Boltzmann-Verfahren (KRAFCZYK, 2001; SUCCI, 2001) verwendet, das sich besonders gut zur Einbindung in den Steering-Rahmen eignet. Ein Grund dafür ist die Verwendung von kartesischen Gittern, die sowohl einer automatischen Generierung als auch einer effizienten Parallelisierung auf Hochleistungsrechnern entgegen kommen. Die Gittergenerierung kann dabei hierarchische Datenstrukturen, so genannte Oktalbäume ausnutzen und mit rekursiven Algorithmen sehr schnell Diskretisierungen erzeugen, die mit herkömmlichen Verfahren tagelange Ingenieurarbeit erfordern würden. Ein Beispiel ist in Abb. 3 dargestellt. Die Diskretisierung des Wagens in einer Auflösung von $400 \times 50 \times 60$ Zellen wurde auf einem handelsüblichen PC in lediglich 1.5 sec durchgeführt. Aus Darstellungsgründen ist in Abb.3c die Struktur und nicht das für die Simulation eigentlich nötige Luftvolumen des Innenraums abgebildet.

4. Ein Beispielszenario: Klimatisierung eines Operationssaals

Als Beispiel soll die interaktive Strömungssimulation für einen Operationssaal beschrieben werden. Einer optimalen Belüftung kommt in OPs besonders große Bedeutung zu, weil einerseits sichergestellt werden muss, dass die Luftströmung an offenen Wunden jederzeit keimfrei ist, also möglichst vom Auslass bis zum Patienten keine keimbehafteten Gegenstände überstrichen hat, andererseits für das Operationspersonal optimale Arbeitsbedingungen zu gewährleisten sind. Abb. 4 zeigt links den Ausschnitt eines Operationssaals im Klinikum

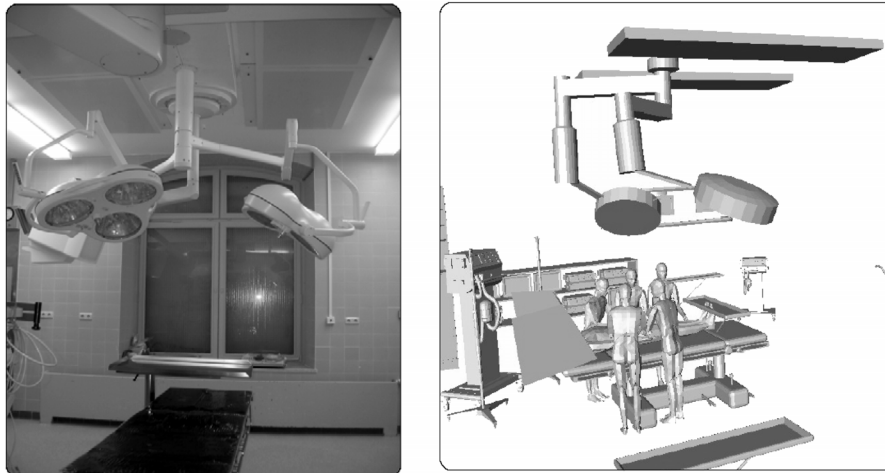


Abb. 4: Operationssaal mit rechteckigen Belüftungsfeldern an der Decke: Foto und Simulationsmodell.

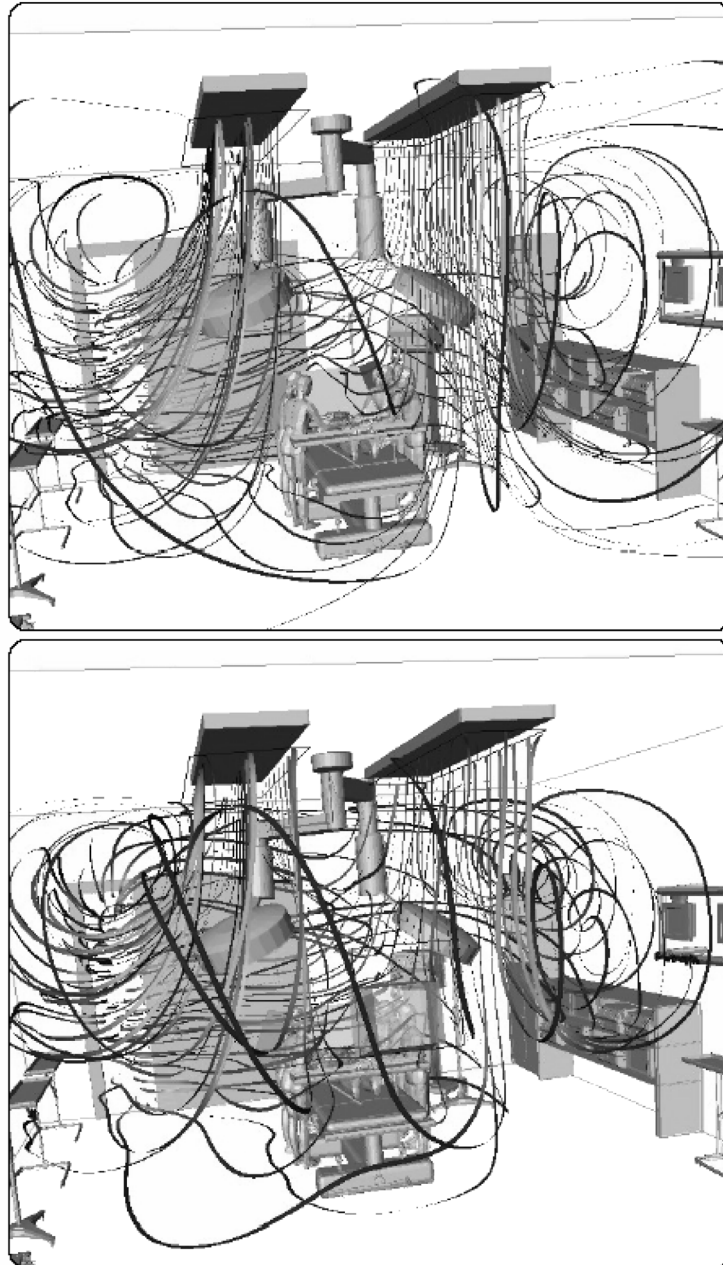


Abb. 5: Strömungsszenarien vor und nach der Anbringung einer zusätzlichen Deckenbelüftung.

rechts der Isar der TUM, rechts das diskretisierte Simulationsmodell mit mehreren Personen und entsprechenden Gerätschaften. An der Decke sind zwei rechteckige Auslässe der Klimatisierung zu erkennen.

In Abb. 5 sind zwei Szenarien der Strömungssimulation dargestellt. Während im oberen Bildteil zu sehen ist, dass die gefilterte Luft von den Operationslampen über dem Operationstisch abgelenkt wird, ist durch die Verbreiterung des Lüftungsauslasses (unterer Bildteil) eine deutliche Verbesserung der Luftströmung erkennbar. Die Veränderung des geometrischen Modells wurde hier während der laufenden Strömungssimulation vorgenommen und erlaubt dem Ingenieur, in sehr kurzer Zeit optimierte Konfigurationen zu entwickeln. Von besonderer Bedeutung für diesen Prozess ist auch die Einbindung von Spezialisten unterschiedlicher Disziplinen in den kooperativen Entwurf. So kann z.B. nur ein mit den Abläufen vertrauter Mediziner die Szenarien und Notwendigkeiten der Positionierung von Geräten während der Operation beurteilen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Collaborative Computational Steering eröffnet völlig neue Möglichkeiten der Verbindung von numerischer Simulation und internetgestützter Kooperation. Voraussetzung ist eine Softwarestruktur, die in vielerlei Hinsicht von klassischen Ansätzen abweicht, die seit Jahrzehnten Berechnungsverfahren in den Ingenieurwissenschaften prägen. Dies betrifft sowohl eine Überwindung der üblichen Trennung von Preprocessing, Computation und Postprocessing als auch die Notwendigkeit, geometrische Modelle zu Produktmodellen weiter zu entwickeln. Von entscheidender Bedeutung ist schließlich die Wahl geeigneter numerischer Methoden, die sich insbesondere durch große Flexibilität hinsichtlich der Veränderung der verwendeten geometrischen Modelle auszeichnen müssen. In Verbindung mit immer schnellerer und leistungsfähigerer Hardware kann Collaborative Computational Steering zu einem neuen Paradigma im *Virtual Engineering* werden, das den ingenieurgemäßen Entwurfsprozess wesentlich besser unterstützt, als dies mit herkömmlichen Verfahren möglich wäre.

Literatur

- ALEX, J. (2000): Konrad Zuse: der Vater des Computers. – Parzeller-Verlag, Fulda.
- ANUMBA, C. (2006): Concurrent Engineering in Construction Projects. Routledge.
- BRAZILEVS, Y., B.M CALO, Y. ZHANG & T.J.R. HUGHES (2006): Isogeometric Fluid-Structure Interaction Analysis with Applications to Arterial Blood Flow, *Comput. Mech.* **38**: 310–322.

- BEUCKE, K., CAPRONO, P. & FIRMENICH, B. (1990): Offene CAD-Konzepte für Lösungen im Bauwesen. *Bauingenieur* **65**: 477–484.
- BORRMANN, A. (2007): Computerunterstützung verteilt-kooperativer Bauplanung durch Integration interaktiver Simulationen und räumlicher Datenbanken. – Dissertation. Lehrstuhl für Bauinformatik, Technische Universität München.
- BORRMANN, A., WENISCH, P., VAN TREECK, C. & RANK, E. (2006): Collaborative Computational Steering: Principles and Application in HVAC Layout. – *Integrated Computer-Aided Engineering* **13**(4) 361–376.
- DÜSTER, A., BRÖKER, H. & RANK, E. (2001): The p-version of the finite element method for three-dimensional curved thin walled structures. – *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, **52**: 673–703.
- KRAFCZYK, M. (2001): Die Gitter-Boltzmann-Methode: Von der Theorie zur Anwendung. – Habilitationsschrift. Lehrstuhl für Bauinformatik, Technische Universität München.
- LACKNER, R., MANG, H.A. PICHLER, CH.: Computational Concrete Mechanics (2004). – In: E. STEIN, E., DE BORST, R., HUGHES, T.J.R. (Hrsg): *Encyclopedia of Computational Mechanics*; John Wiley & Sons: 513–541, Chichester.
- MACRAE, N. (1994): John von Neumann : Mathematik und Computerforschung – Facetten eines Genies. – Birkhäuser-Verlag, Basel.
- MANG, H.A., LACKNER, R., MESCHKE, G. & MOSLER, J. (2003): Computational Modeling of Concrete Structures. – In: R. de Borst, H.A. Mang (Hrsg): *Comprehensive Structural Integrity Vol. III*, Elsevier: 541–605, Oxford.
- MANG, H.A. (1995): Flächentragwerke – In: *Der Ingenieurbau. Rechnerorientierte Bau-mechanik* (Band 6), Wilhelm Ernst & Sohn: 1–139, Berlin.
- MANG, H. A., EBERHARDSTEINER, J., LACKNER, R., MACKENZIE-HELNWEIN, P., PICHLER, CH. (2003): Constitutive Modeling and Computational Mechanics of Wood and Cement-Based Materials – *Building Research Journal*, **51**(4): 239–269.
- MEIßNER, U., VON MITSCHKE-COLLANDE, P. & NITSCHKE, G. (1992): CAD im Bauwesen. Springer-Verlag, Berlin.
- NEUBERG, F., RANK, E., EKKERLEIN, C. & FAULSTICH, M. (2002): Internetbasierte Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken. – *Bauphysik*, **24**(6): 354–360.
- PRASAD, B. (1995): *Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization*. Prentice Hall, New York.
- RANK, E., DÜSTER, A., NÜBEL, V., PREUSCH, K. & BRUHNS, O.T. (2005): High order finite elements for shells. – *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* **194**: 2494–2512.

- RANK, E., J. PARVIZIAN, Z. YOSIBASH & A. DÜSTER (2007): Towards interactive numerical simulation for patient specific orthopaedic surgery planning. – In: Proc. of the Third Int. Congress on Computational Bioengineering, Isla de Margarita, Venezuela.
- RANTZAU, D. & U. LANG (1998): A scalable virtual environment for large scale scientific data analysis. – *Future Generation Computer Systems* **14**(3-4): 215–222.
- RIFAI, S.M., Z. JOHAN, W.-P. WANG, J.-P. GRISVAL, T.J.R. HUGHES & R. M FERENCZ (1999): Multiphysics simulation of flow-induced vibrations and aeroelasticity on parallel computing platforms. – *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* **174**(3-4): 393–417.
- ROMBERG, R., A. NIGGL, C. VAN TREECK & E. RANK (2004): Structural Analysis based on the Product Model Standard IFC. – In: Proc of the Xth Int. on Comp. in Civil and Building Engineering (ICCCBE), Weimar.
- RÜPPEL, U. & U. MEIßNER (1996): Integrierte Planung, Fertigung und Nutzung von Bauwerken auf der Basis von Produktmodellen. – *Bauingenieur* **71**: 47–55.
- SUCCI, S. (2001): *The Lattice Boltzmann Equation for Fluid Dynamics and Beyond*. – Oxford University Press, Oxford.
- VAN TREECK, C., P. WENISCH, A. BORRMANN, M. PFAFFINGER, O. WENISCH & E. RANK (2007): ComfSim - Interaktive Simulation des thermischen Komforts in Innenräumen auf Höchstleistungsrechnern. – *Bauphysik* **29**(1): 2–7.
- WASSOUF, Z., M. EGGER, F. NEUBERG, C. VAN TREECK & E. RANK (2006): Produktmodellbasierte Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken. – *Bauingenieur*, **81**: 251–258.
- WENISCH, P. (2008): *Computational Steering of CFD Simulations on Teraflop-Supercomputers* – Dissertation. Lehrstuhl für Bauinformatik, Technische Universität München.
- WENISCH, P., C. VAN TREECK, A. BORRMANN, E. RANK & O. WENISCH (2007): Computational Steering on Distributed Systems: Indoor Comfort Simulations as a Case Study of Interactive CFD on Supercomputers. – *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems* **22**(4): 275–291.
- WRIGGERS, P., U. MEIßNER, E. STEIN & W. WUNDERLICH (1998): *Finite Elemente in der Baupraxis*. – Ernst & Sohn, Berlin.
- WRIGGERS, P. (2001): *Nichtlineare Finite-Element-Methoden*. – Springer-Verlag, Berlin.
- ZIENKIEWICZ, O.C. & R. L. TAYLOR (2000): *The Finite Element Method - The Basis*. – Butterworth-Heinemann.
- ZOHDI, T. I. & P. WRIGGERS (2005): *Introduction to Computational Micromechanics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Zur Strukturdynamik — Modellbildungen und Anwendungen*

EKKEHARD RAMM

Institut für Baustatik und Baudynamik, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 7, D-70550 Stuttgart

Herrn Professor Herbert Mang gewidmet

*„Das Leben besteht
in der Bewegung“
Aristoteles (384-322 .Chr.)*

Zusammenfassung

Die Strukturdynamik befasst sich mit der Dynamik von Tragwerken. Der Beitrag gibt nach einer kurzen Motivation einen Überblick über die impliziten Zeitintegrationsverfahren, die in der nichtlinearen Dynamik eine zentrale Rolle spielen; hierzu gehören die etablierten Verfahren der Newmark-Familie, aber auch die neueren Galerkin-Verfahren, die auch für die Zeitdiskretisierung Finite-Element-Methoden einsetzen. Beispiele aus Forschung und Praxis vervollständigen die Abhandlung.

1. Einführung

1.1 Zum Thema

Die Strukturdynamik beschreibt das dynamische Verhalten von tragenden Bauteilen (engl. „structure“ für Tragwerk); sie ist ein unverzichtbares Element in der täglichen Entwurfspraxis in den meisten Ingenieurdisziplinen. Folgerichtig spielt die Strukturdynamik auch in der aktuellen Forschung eine zentrale Rolle. Dies gilt mittlerweile auch für den Bauingenieur, dessen Arbeitsgebiet traditionell mit dem Begriff des „Statikers“ verbunden war. Die Gründe hierfür sind vielfältig:

* Der Vortrag wurde am 04.05.2007 beim Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

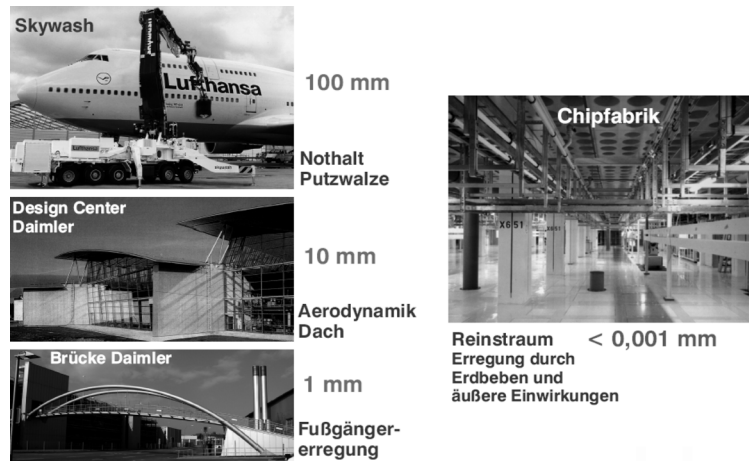


Abb. 1: Maximale Verschiebungen dynamisch erregter Systeme.

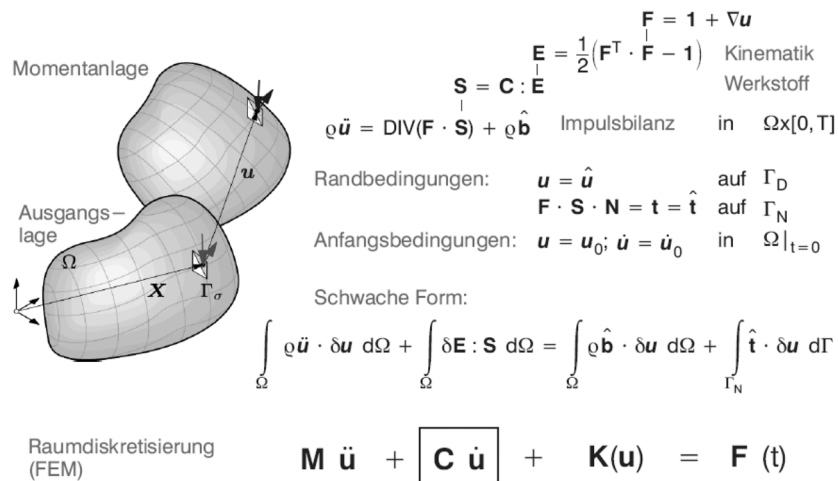
- Bauwerke werden schlanker und leichter und damit anfälliger für dynamische Erregungen.
- zeitabhängige Beanspruchungen führen zu neuen und erhöhten Anforderungen, beispielsweise bei schwingungsempfindlichen Produktionsstätten wie Chip-Fabriken, bei sicherheitsrelevanten Bauten wie Kernkraftwerken oder bei Beanspruchungen durch Explosionen, wie sie leider mehr und mehr durch Terroranschläge vorkommen.
- Bauaufgaben werden in seismisch aktiven Zonen auf der ganzen Welt wahrgenommen.
- Modellierungs- und Simulationsmethoden sind realitätsnäher und benutzerfreundlicher.

Das Spektrum der Anforderungen an dynamische Untersuchungen ist erheblich. In Abbildung 1 wird die große Spannweite der Aufgaben exemplarisch an vier Projekten demonstriert [1], dargestellt durch die maximal zugelassenen Verschiebungen, teilweise zurückgerechnet aus Grenzbeschleunigungen. Bei einem Nothalt des von der Firma Putzmeister entwickelten Skywash darf die Bürstenwalze am Ausleger bei dem plötzlichen Stop keine Auslenkung über 100 mm erfahren. Der Überhang der extrem schlanken Dachkonstruktion ist auf aerodynamische Beanspruchungen mit größten Verschiebungen von 10 mm ausgelegt, während die zugelassenen Brückenschwingungen zu Maximalwerten von 1 mm führen. Dagegen dürfen Erregungen durch äußere Einwirkungen oder Erdbeben im Reinraum einer Chipproduktion den Extremwert von 0.001 mm nicht überschreiten.

1.2 Modellbildung und numerische Simulation

Die Kürze des Beitrags erlaubt keine Diskussion der üblichen Berechnungsmodelle in der Dynamik. Die modale Analyse ist ein etabliertes Verfahren und setzt wegen der Superposition lineares Verhalten voraus; der Vorteil ist ihre Effizienz, auch wegen der Beschränkung auf wesentliche Moden. Entsprechende Filtertechniken werden angeboten. Für komplexe, meistens zufallsorientierte Erregungen hat sich die Antwortspektrenmethode durchgesetzt. Obwohl die Spektren im Grundsatz wegen der Zusammensetzung der Maximalantworten aus den einzelnen Moden auch nur für lineares Verhalten entwickelt werden, wird das nichtlineare Verhalten meistens heuristisch eingearbeitet, siehe Antwortspektrum der Erdbebenorm DIN 4149. Für nichtlineares Strukturverhalten bieten sich Zeitverlaufsrechnungen an, vorausgesetzt die zeitliche Erregung ist bekannt. Auf sie wird im Weiteren etwas detaillierter eingegangen.

In Abbildung 2 sind die Grundgleichungen der nichtlinearen Elastodynamik zusammengestellt, nämlich die Kinematik- und Werkstoffgleichungen, die Impulsbilanz, die Randbedingungen auf dem Dirichlet- und Neumann-Rand und die Anfangsbedingungen. Hierin sind \mathbf{F} der Deformationsgradient, \mathbf{E} der Green-Lagrange Verzerrungstensor, \mathbf{S} der zweite Kirchhoff-Piola Spannungstensor, \mathbf{u} der Verschiebungsvektor, ρ die Dichte und $\hat{\mathbf{b}}$ bzw. $\hat{\mathbf{t}}$ die vorgegebenen Volumen- bzw. Oberflächenkräfte. (*) stellt die Zeitableitung dar, also z.B. $\ddot{\mathbf{u}}$ die Beschleunigung. Das Gleichgewicht in seiner schwachen oder variationellen



$$\begin{aligned}
 & \mathbf{F} = \mathbf{1} + \nabla \mathbf{u} \\
 & \mathbf{E} = \frac{1}{2} (\mathbf{F}^T \cdot \mathbf{F} - \mathbf{1}) \quad \text{Kinematik} \\
 & \mathbf{S} = \mathbf{C} : \mathbf{E} \quad \text{Werkstoff} \\
 & \rho \ddot{\mathbf{u}} = \text{DIV}(\mathbf{F} \cdot \mathbf{S}) + \rho \hat{\mathbf{b}} \quad \text{Impulsbilanz in } \Omega \times [0, T] \\
 & \text{Randbedingungen: } \mathbf{u} = \hat{\mathbf{u}} \quad \text{auf } \Gamma_D \\
 & \quad \mathbf{F} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{N} = \hat{\mathbf{t}} \quad \text{auf } \Gamma_N \\
 & \text{Anfangsbedingungen: } \mathbf{u} = \mathbf{u}_0; \dot{\mathbf{u}} = \dot{\mathbf{u}}_0 \quad \text{in } \Omega|_{t=0} \\
 & \text{Schwache Form:} \\
 & \int_{\Omega} \rho \ddot{\mathbf{u}} \cdot \delta \mathbf{u} \, d\Omega + \int_{\Omega} \delta \mathbf{E} : \mathbf{S} \, d\Omega = \int_{\Omega} \rho \hat{\mathbf{b}} \cdot \delta \mathbf{u} \, d\Omega + \int_{\Gamma_N} \hat{\mathbf{t}} \cdot \delta \mathbf{u} \, d\Gamma \\
 & \text{Raumdiskretisierung (FEM)} \quad \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}(\mathbf{u}) = \mathbf{F}(t)
 \end{aligned}$$

Abb. 2: Dynamisches Gleichgewicht – Bewegungsgleichungen.

Form mit den virtuellen Größen oder Testfunktionen $\delta(\cdot)$ ist die Ausgangsbeziehung für die räumliche Diskretisierung mit der Methode der Finiten Elemente, ausgedrückt durch die bekannte Matrizengleichung. Der erste Ausdruck mit der Massenmatrix \mathbf{M} führt zu den Trägheitskräften, der zweite Term wird nach der Diskretisierung durch die verschiebungsabhängige nichtlineare Steifigkeitsmatrix $\mathbf{K}(\mathbf{u})$ ausgedrückt, die für eine Newton-Iteration linearisiert wird. Auf der rechten Seite sind die äußeren Lasten in dem zeitabhängigen Lastvektor $\mathbf{F}(t)$ zusammengefasst. Die Gleichung wird üblicherweise noch durch einen weiteren Term ergänzt, der eine viskose Dämpfung über eine Dämpfungsmatrix \mathbf{C} einbringt.

Diese semi-diskrete Gleichung ist nun noch in der Zeit zu integrieren. Hierfür bieten sich Finite Differenzenverfahren oder auch Finite-Element-Methoden an. Die Literatur hierzu ist umfassend, so dass hier nur einige Bemerkungen zu den impliziten Einschrittverfahren gemacht werden sollen. Die Anforderungen in der nichtlinearen Strukturmechanik sind: Sie sollen mindestens von 2. Ordnung genau und unbedingt stabil, d.h. energieerhaltend oder -reduzierend, sein. Ferner ist eine numerische Dissipation wichtig, um die wegen der hohen Auflösung auftretenden hochfrequenten Systemantworten kontrolliert eliminieren zu können.

Abb. 3 gibt einen Überblick über einige Entwicklungen zu den Finiten Differenzen-Methoden (FDM). Dort ist auch aufgelistet, ob die Verfahren die genannten Anforderungen erfüllen oder nicht. Das Newmark Verfahren als der wohl wichtigste und am häufigsten eingesetzte Vertreter ist der Ausgangspunkt für weitere Entwicklungen, so die Hilber- und Bossak-Verfahren zur Dissipationskontrolle, die dann von CHUNG & HULBERT 1993 [2] zum „Generalized- α “ Verfahren verallgemeinert wurden. Hierbei werden die Bilanzgleichungen zu verallgemeinerten „Mittelpunkten“ aufgestellt.

Es zeigte sich, dass diese Verfahren für große Deformationen nicht stabil sind, ein Grund für die Entwicklung sogenannter energie-und-bilanzerhaltender Methoden, bei denen die Spannungen in der Mitte eines Zeitschrittes (EMM-Methode nach SIMO & TARNOW [3]) oder leicht aus der Mitte versetzt (ARMERO et al. [4] für Kontakt und KÜHL et al. [5], [6] als Kombination der EMM und „Generalized- α “ Verfahren) aus den Werten an den Zeitschrittgrenzen ermittelt werden.

In jüngster Zeit werden auch mehr und mehr FEM in Raum und Zeit eingesetzt, z.B. die zeit-kontinuierlichen und -diskontinuierlichen Galerkin-Verfahren (cG bzw. dG), die im Zeitbereich mit einzelnen Zeitscheiben arbeiten [7], siehe z.B. die Übersicht von KÜHL in [8], Abb. 4. Die dG-Verfahren haben wegen der Diskontinuität der Verschiebungsverläufe zwischen den Zeitscheiben zwar zusätzliche Unbekannte, aber den Vorteil, dass sie als Einschrittverfahren funktionieren.

Am Beispiel des dynamischen Beulens einer Kugelschale sollen vier Zeitintegrationsverfahren miteinander verglichen werden [8] (Abb.5): das kontinu-

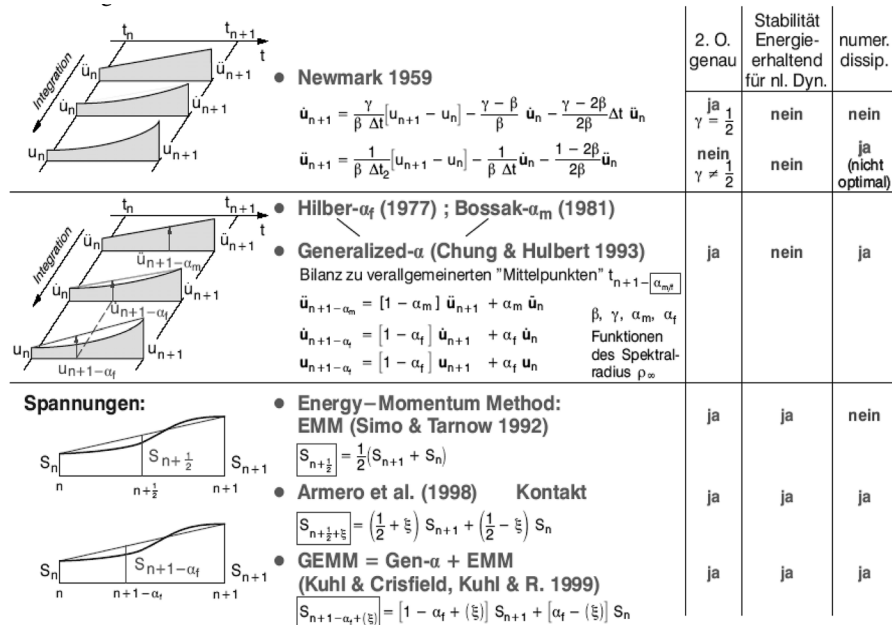


Abbildung 3: Zeitintegration- Newmark Familie

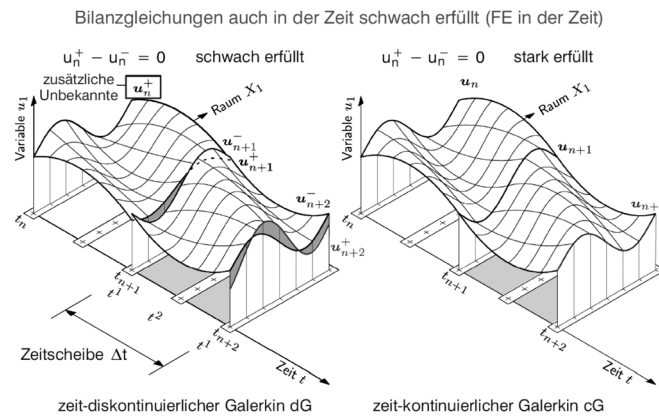


Abb. 4: Zeitintegration – Galerkin Verfahren [8].

ierliche (cG) und das diskontinuierliche (dG) Galerkin-Verfahren 2. Ordnung, die „Energy-Momentum Method“ EMM und die Newmark-Methode. Dazu wird

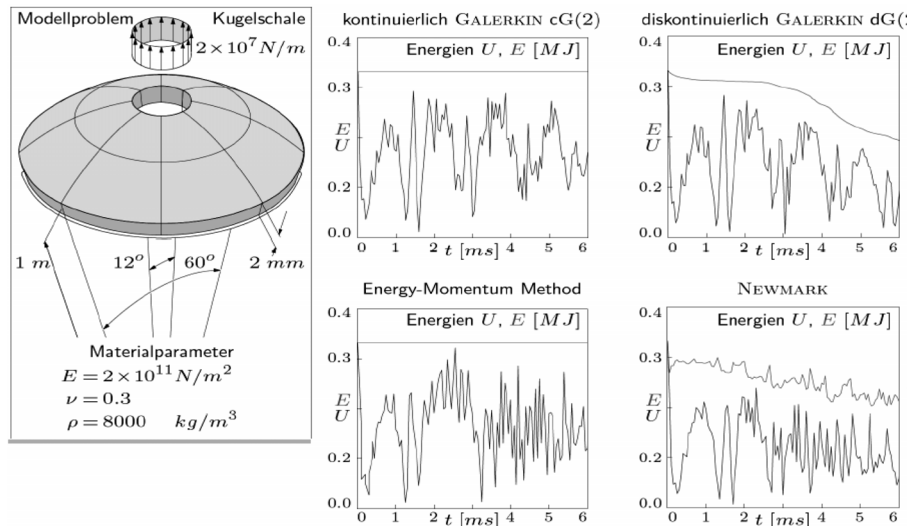


Abb. 5: Beulen einer Kugelschale – Zeitintegrationen [8].

die Schale am oberen Lochrand mit einer linienförmigen Zuglast beansprucht, die dann sofort wieder entfernt wird. Durch das Rückfedern schlägt die Schale hochdynamisch nach unten durch. Für alle vier Fälle wird der Verlauf der Gesamtenergie E sowie der Formänderungsenergie U beobachtet.

Man erkennt, dass cG- und EMM-Verfahren im Gegensatz zu Newmark und dG energieerhaltend sind und das Newmark-Verfahren sogar sehr stark energieschwankend ist. In Fällen bei großen Deformationen kann es zu numerischen Instabilitäten führen. dG-Verfahren sind anders als cG und EMM für hohe Moden dissipativ, brauchen aber für eine ausreichende Genauigkeit eine entsprechend hohe Ansatzordnung.

2. Beispiele aus der Forschung

Drei Beispiele werden exemplarisch herausgegriffen, die die Notwendigkeit von dynamischen Untersuchungen unterstreichen.

Dünnwandige Schalen sind bekanntermaßen imperfektionsempfindlich und neigen zu plötzlichem Beulversagen. Die Versuche von Professor M. Esslinger in den 1960-70iger Jahren (Abb. 6. links) haben erhebliche Einsicht in das Stabilitätsverhalten gebracht. Während das Vorbeulverhalten unter Berücksichtigung geometrischer und struktureller Imperfektionen bis zur Ermittlung der

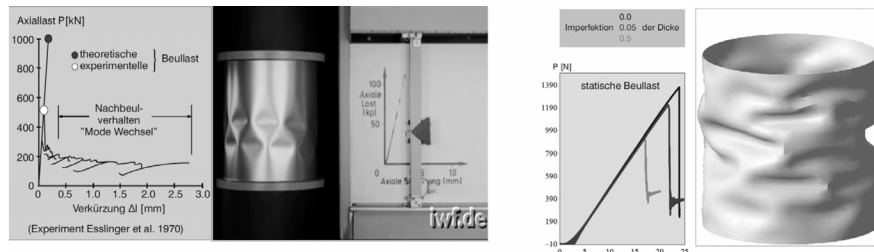


Abb. 6: Beulen einer axialbelasteten Zylinderschale (links: Ausschnitt aus einem Film des Instituts für wissenschaftlichen Film, Göttingen, iwf).

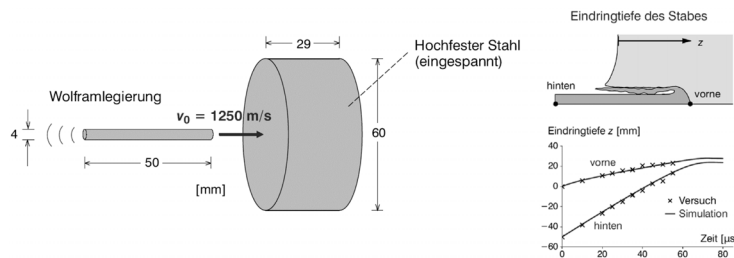


Abb. 7: Impact eines Wolfram-Stabes auf Stahlplatte [10]

Versagenslast mit statischen Methoden berechnet werden kann, ist das Nachbeulverhalten nur sinnvoll durch eine dynamische Analyse zu ermitteln [9] (Abb. 6, rechts). Hier zeigt sich, dass eine Simulation häufig nur dann erfolgreich ist, wenn das wirkliche physikalische Verhalten, hier der dynamische Durchschlag, realitätsnah modelliert wird.

Das zweite Beispiel zeigt die Simulation des Impakts eines Wolframstabes, der mit sehr hoher Geschwindigkeit auf eine Stahlplatte auftrifft [10] (Abb.7). Die Materialien werden mit dem Johnson-Cook Plastizitätsmodell berechnet, das die Raten- und die Temperaturabhängigkeit der Fließgrenze berücksichtigt. Kontaktalgorithmen ergänzen das Modell. Die dynamische Berechnung erfolgte mit einer expliziten Zeitintegration.

Im rechten Teil des Bildes ist die Eindringtiefe zweier Punkte nach einem Versuch und nach einer Simulation mit Finiten Elementen in Abhängigkeit der Zeit dargestellt. Abb.8 zeigt drei Momentansituationen während der Simulation; im Bild sind die Vergleichsspannung und die jeweilige Neuvernetzung wiedergegeben.

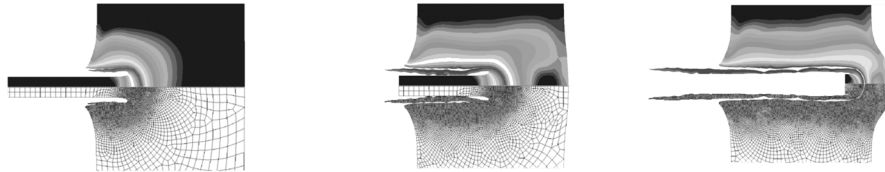


Abb. 8: Momentaufnahmen des simulierten Eindringvorganges [10].

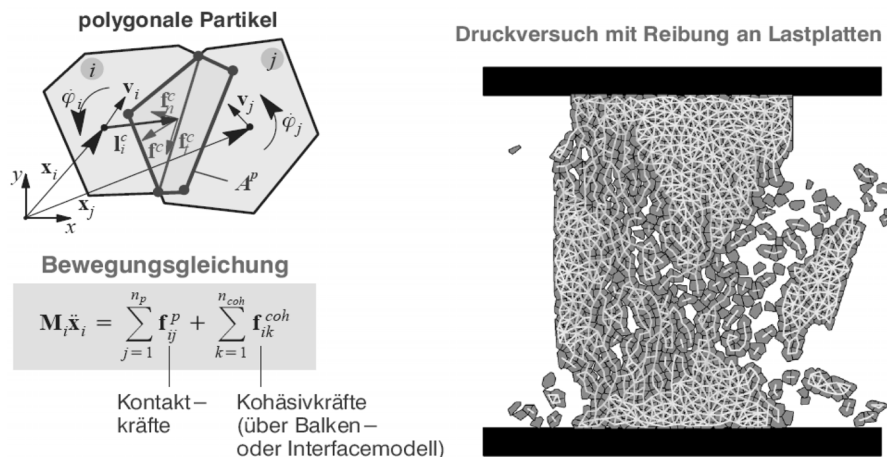


Abb. 9: Partikeldynamik – Druckversuch [11].

Die Kontinuumsformulierungen stoßen naturgemäß an ihre Grenzen, wenn sich diskontinuierliche Zustände wie Rissbildungen, Delaminationen oder Topologieveränderungen durch Materialtrennung einstellen. In diesen Fällen bietet sich eine Partikelformulierung an, die Verfahren der Molekulardynamik auf größere Skalen überträgt. In Abb.9 ist dieses Verfahren angedeutet; hier sind exemplarisch zwei Partikel mit ihren Freiheitsgraden abgebildet, deren Überlappungsfläche näherungsweise die Rückstellkräfte bei Kontakt definieren. Ferner ist die Bewegungsgleichung aller Partikel angegeben, ergänzt durch einen Hinweis auf das explizite Zeitintegrationsverfahren. Im rechten Teil wird eine Momentaufnahme eines zweidimensionalen Druckversuchs in einem fortgeschrittenen Belastungszustand gezeigt, in dem das typische X-förmige Rissmuster zu erkennen ist [11].

Die Anwendung dieses Modells auf einen Biaxial-Test der Geotechnik mit kohäsionslosem Bodenmaterial zeigt Abbildung 10 [11]. Die Lastzelle wird

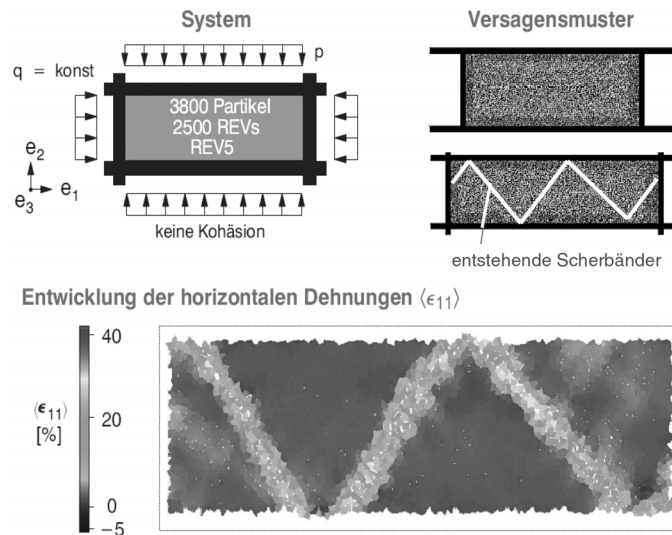


Abb. 10: Partikeldynamik Biaxial-Test [11].

zunächst mit einem Seitendruck q beaufschlagt und dann mit steigender Belastung p von oben gedrückt. Der Versuch zeigt ein deutliches Lokalisierungsmuster mit ausgeprägten Scherbändern. Um das Ergebnis des Partikelmodells im Sinne der Kontinuumsmechanik zu interpretieren, wurden entsprechende mechanische Größen über Repräsentative Volumenelemente (REV) homogenisiert. Das untere Bild zeigt horizontale Dehnungen in einem fortgeschrittenen Belastungszustand, in dem die Scherbänder sehr deutlich zu erkennen sind.

3. Ausgewählte Projekte aus der Praxis

3.1 Telekom Center München

Für das von der Firma Züblin errichtete Telekom Center in München (Abb. 11) seien zwei dynamische Fragestellungen herausgegriffen: Die Fußgängeranregung der Deckenplatten im runden Bürogebäude [12] und die Auswirkung eines fiktiven Explosionsfalles in der angrenzenden Bundesmonopolverwaltung für Branntwein auf die Glasfassaden des Centers [13]. Die extrem weitgespannten Decken mit 12 m Spannweite neigen zu unangenehmen, gegebenenfalls unzumutbaren Beschleunigungen, wie sie in Abb. 12 in einem Beschleunigungsspektrum angegeben sind; dort ist auch die Last-Zeit Kurve für eine Erregung durch einen Fußgänger aufgeführt.

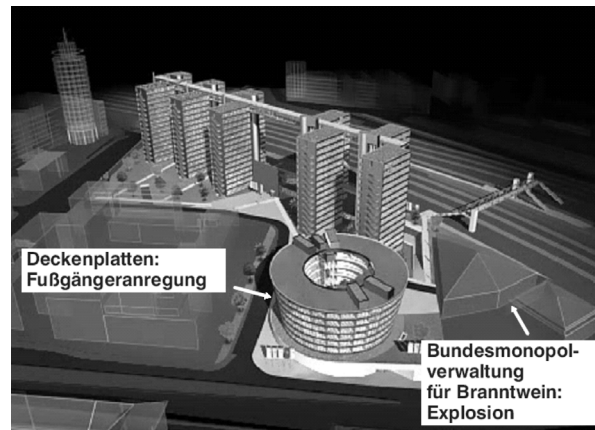


Abb. 11: Telecom Center, München.

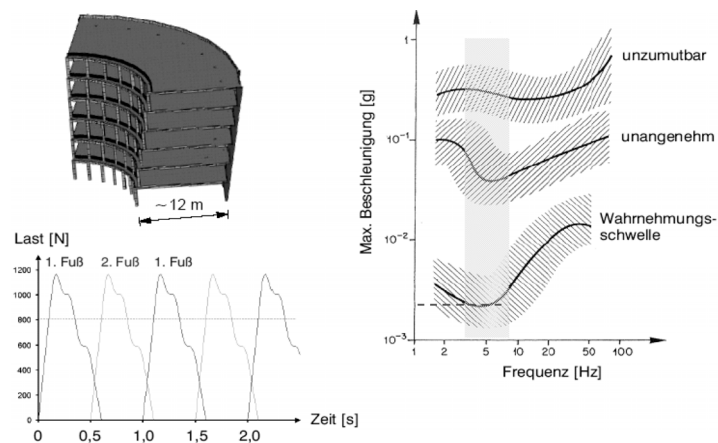


Abb. 12: Fußgängererregung.

In Abb. 13 sind die berechneten Schwingungsantworten, gemessen in einer bewerteten Schwingstärke, als Zeitverlaufskurve an verschiedenen Orten der Decke und als Spektrum über der ersten Eigenfrequenz aufgetragen. Deutlich ist bei 4 Hz die Resonanzstelle bei doppelter Schrittfrequenz zu erkennen, wie sie beim Erstentwurf einer Verbunddecke aufgetreten wäre.

Angegeben ist ferner eine Stahlbetonlösung für eine Tiefabstimmung sowie die dann ausgeführte modifizierte Verbundkonstruktion als Hochabstimmung.

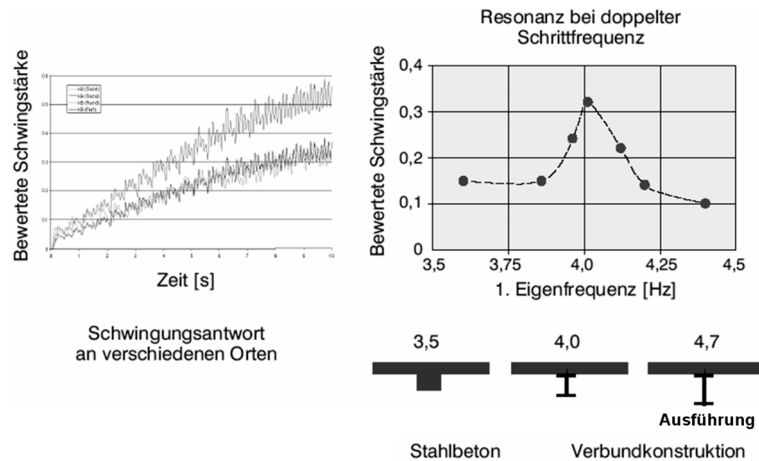


Abb. 13: Schwingungsantwort – Beschleunigungsspektrum.

Der Druckwellenverlauf einer Explosion im BfB Gebäude in Ort und Zeit lässt sich mit einer Strömungsanalyse, hier für ein 2D Modell, berechnen, aus der die zeitlich veränderliche Belastung für die einzelnen Glasfassaden entnommen werden kann.

Abb. 14 zeigt die Wirkung der Druckwelle auf das in der Mitte liegende Kantinengebäude. Entsprechende Zeitverläufe lassen sich für die Beanspruchungen einzelner Glasscheiben ermitteln, deren struktureller Aufbau einschließlich der nachgiebigen Lagerung sehr sorgfältig modelliert werden muss (Abb.15). Ziel

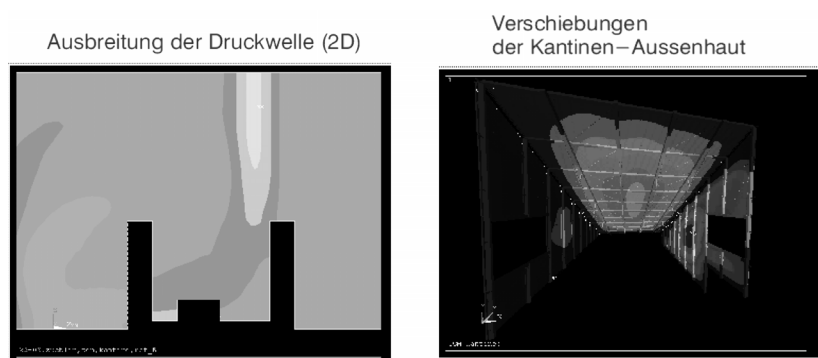


Abb. 14: Verlauf der Explosionswelle; Wirkung auf Kantinen-Aussenhaut.

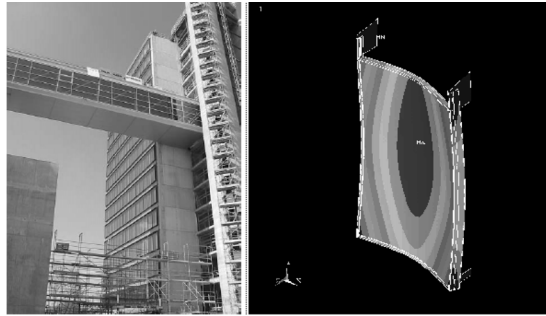


Abb. 15: Glasfassaden, Schwingungsform einer Glasscheibe.

der Untersuchung ist die dynamische Überhöhung gegenüber einer statischen Berechnung.

3.3 Glasscheiben unter Stossbelastungen

Das Verhalten von einzelnen Verbundsicherheitsglasscheiben unter einer Explosionslast wurde experimentell und numerisch untersucht. Die Versuche wurden im Stossrohr am Ernst-Mach-Institut für Kurzzeitdynamik (EMI) in Freiburg [14] durchgeführt (Abb.16). Aus der Abbildung sind auch die erhöhten Bruchspannungen bei einer Kurzzeitbeanspruchung zu erkennen; ferner sind unerwünschte und gewünschte Versagenszustände abgebildet.

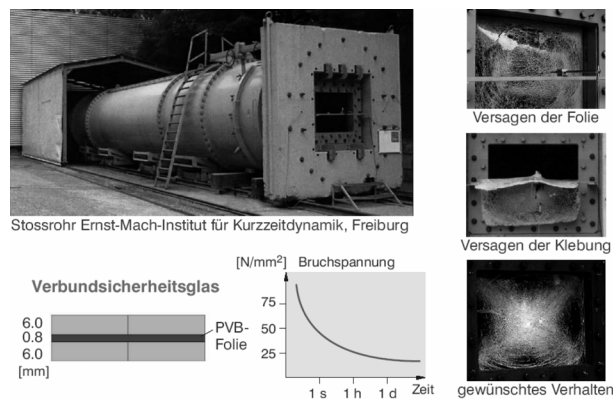


Abb. 16: Stossrohrversuche von VSG-Scheiben.

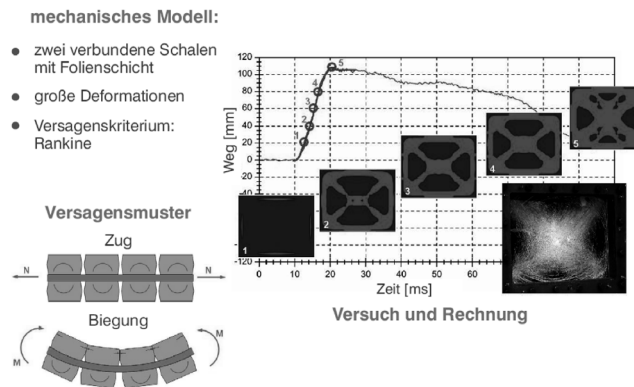


Abb. 17: Vergleich von Versuch und Rechnung für VSG-Scheibe.

Die experimentellen Untersuchungen wurden durch numerische Berechnungen begleitet. Hierzu wurde ein relativ einfaches, aber durchaus realistisches Berechnungsmodell entwickelt. Darin wurden zwei Schalenelemente durch eine Folienschicht miteinander verbunden. Grosse Deformationen wurden berücksichtigt. Das Materialversagen der Glasscheiben wurde durch ein Rankine-Kriterium beschrieben. Der Kontakt zwischen gebrochenen Glassegmenten wurde berücksichtigt. Abb. 17 zeigt ein Weg-Zeit-Diagramm; die Berechnungen wurden bis zur Bruchlast durchgeführt und zeigen eine hervorragende Übereinstimmung mit der Versuchskurve. Auch die berechneten Versagsmuster geben die im Experiment beobachteten Zustände sehr gut wieder.

3.4 Lärmschutzwände an ICE Strecke

Für die ICE - Neubaustrecke Nürnberg-Ingoldstadt wurde für die Firma Züblin eine detaillierte Untersuchung zur Ermüdungsfestigkeit der Lärmschutzwände durchgeführt. Die Wände werden bei jeder Zugdurchfahrt zu erheblichen Schwingungen angeregt. Für die mechanische Modellierung (Abb. 18) dieser dynamischen Erregung ist es nicht nur erforderlich, das Tragwerk mit seinen Einzelkomponenten und seiner Lagerung detailliert abzubilden. Von entscheidender Bedeutung ist eine realistische Wiedergabe der Druckwelle eines mit hoher Geschwindigkeit durchfahrenden Zuges, d.h. das gemessene Druckprofil eines Zuges mit Druck- und Sogbereichen ist nicht nur zeitabhängig, sondern der Bewegung des Zuges entsprechend, auch ortsabhängig auf das System aufzubringen. Dabei sind auch Reflektionen der Wellenausbreitung an den Tragwerksübergängen zu berücksichtigen [1].

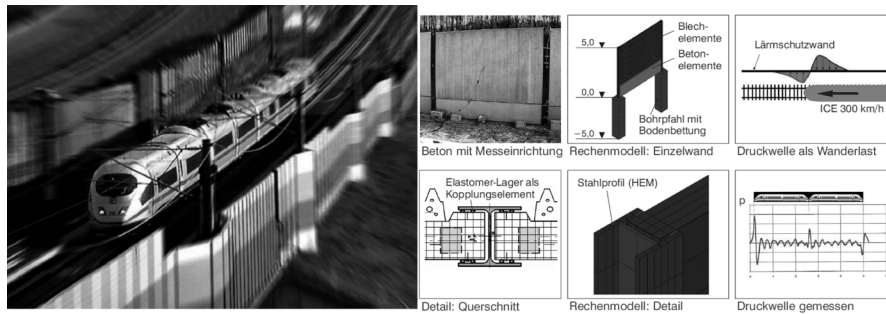


Abb. 18: Lärmschutzwände – Ausführung, Modelle, Druckwelle.

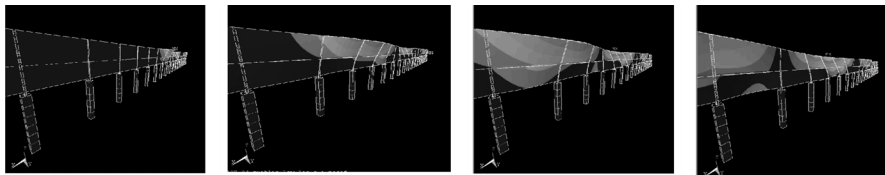


Abb. 19: Momentanaufnahmen der schwingenden Wand bei Zugdurchfahrt

Abb. 19 zeigt einige Momentanaufnahmen von der Simulation der Lärmschutzwand bei Durchfahrt eines ICE Zuges. Der Vergleich der Verschiebung eines Messpunktes mit dem numerischen Ergebnis ist in Abb. 20 dargestellt; die hervorragende Übereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung ist auch ein Zeichen der guten Qualität des numerischen Modells.

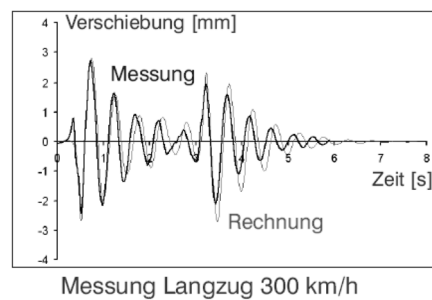


Abb. 20: Verschiebungs-Zeit-Kurve eines Messpunktes.

4. Schlussbemerkung

Die Strukturodynamik benötigt ein erhebliches Wissen in den mechanischen Grundlagen und den numerischen Berechnungsmethoden. Dieses betrifft auch den verantwortungsvollen Gebrauch einschlägiger Software. Die Erfahrung zeigt, dass die hervorragenden graphischen Oberflächen häufig eine Perfektion und Qualität vortäuschen, die im Kern der Software nicht immer vorhanden sind. Damit bekommen Validierung und Verifikation von numerischen Ergebnissen eine zentrale Bedeutung.

Literatur

- [1] BURMEISTER, A. & E. RAMM: Baudynamik – Modellierung und Fallbeispiele Vortragsunterlagen des Ingenieurbüros Delta-X, Stuttgart, 2004
- [2] CHUNG, J. & G.M. HULBERT, G.M.: A Time Integration Algorithm for Structural Dynamics with Improved Numerical Dissipation: The Generalized- α Method. *Journal for Applied Mechanics*, 60 (1993) S. 371-375
- [3] SIMO, J.C. & N. TARNOV: The Discrete Energy-Momentum-Method. Conserving Algorithms for Nonlinear Elastodynamics. *Journal for Applied Mathematics and Physics*, 43 (1992) S. 757-792
- [4] ARMERO, F. & E. PETÖCZ: Formulation and Analysis of Conserving Algorithms for Frictionless Dynamic Contact/Impact Problems. *Computer Methods for Applied Mechanics and Engineering*, 158 (1998) S. 269-300
- [5] KÜHL, D. & M.A. CRISFIELD: Energy Conserving and Decaying Algorithms in Non-Linear Structural Dynamics. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 45, (1999) S. 569-599
- [6] KÜHL, D. & E. RAMM: Generalized Energy-Momentum Method for Non-Linear Adaptive Shell Dynamics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 178 (1999) S. 343-366
- [7] CARSTENS, S. & D. KÜHL: Non-Linear Static and Dynamic Analysis of Tensegrity Structures by Spatial and Temporal Galerkin Methods. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 46 (2005) S. 116-134
- [8] KÜHL, D.: Computational structural dynamics. Summer school, COMMAS, University of Stuttgart, 13-14 Oct 2005 <http://cms.uni-kassel.de/>
- [9] GEE, M: Effiziente Lösungsstrategien in der nichtlinearen Schalenmechanik. Dissertation, Bericht Nr. 43, Institut für Baustatik, Universität Stuttgart, 2004
- [10] ERHART T., W.A. WALL & E. RAMM: Robust Adaptive Remeshing Strategy for Large Deformation, Transient Impact Simulations. *Int. J. Num. Meth. Engng.* 65, 2006, pp.2139-2166

- [11] D'ADDETTA, G.A. & E. RAMM: A microstructure-based simulation environment on the basis of an interface enhanced particle model. *Granular Matter* 8, 2006, pp. 159-174
- [12] BURMEISTER, A. & W. BREYER: Probleme weitgespannter Decken unter Fußgänger-Anregung im technischen und rechtlichen Bereich. VDI-Berichte 1941, Kassel, 2006
- [13] BURMEISTER, A. & H. RAHM: Simulation explosionshemmender Fassadenkonstruktionen. Seminar „Glas im Konstruktiven Ingenieurbau 4“ der FH München, 17.09.2004
- [14] ROMANI, M.: Glaskonstruktionen – Tragverhalten und Druckstoßprüfung. Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik Ernst-Mach-Institut, Freiburg, 2006

Werkstoffmodellierung in der numerischen Mechanik– mikro- und makromechanische Charakterisierung von Holz*

JOSEF EBERHARDSTEINER und KARIN HOFSTETTER

Technische Universität Wien, Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen
Karlsplatz 13/202, 1040 Wien, Österreich
email: {ej,kh}@imws.tuwien.ac.at

Im modernen konstruktiven Holzbau kommen in zunehmendem Maße zweidimensionale (platten- oder schalenartige) Tragelemente zum Einsatz. Von Standardfällen abgesehen, sind zur Berechnung und Bewertung des Deformations- und Festigkeitsverhaltens derartiger Holzkonstruktionen keine universell einsetzbaren analytischen Berechnungsverfahren verfügbar. Aus diesem Grund erfordert die Durchführung realitätsnaher, zuverlässiger Traglastanalysen sowie die Ermittlung des räumlichen Deformationsverhaltens solcher zweiachsig gespannten Bauteile die Anwendung numerischer Berechnungsverfahren, wie z.B. der Finite-Elemente (FE)-Methode. Aber auch im traditionellen Holzbau mit seinen trägerrostartigen Strukturen treten im Bereich der Verbindungsmittel dreidimensionale Beanspruchungszustände auf, welche mit herkömmlichen Mitteln nur unzulänglich quantifiziert werden können. Zur Analyse der in diesem Zusammenhang resultierenden Spannungskonzentrationen bedarf es daher ebenfalls des Einsatzes numerischer Simulationen. Grundlage für die Anwendung numerischer Verfahren ist die Verfügbarkeit geeigneter Materialgesetze, welche das Steifigkeits- und Festigkeitsverhalten von mehrachsig, schräg zur Faser beanspruchtem Holz zuverlässig beschreiben. Solche Materialgesetze sind zurzeit lediglich in geringem Umfang vorhanden. Vielmehr bestehen beträchtliche Defizite an werkstoffmechanischem Grundlagenwissen im Hinblick auf das mechanische Verhalten von Holz bei allgemein dreidimensionaler Beanspruchung.

Dieser Missstand veranlasste bereits in den frühen 1990er-Jahren die Etablierung eines Forschungsschwerpunkts zum mechanischen Verhalten von Holz am Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen (IMWS) der TU Wien. Seither wird intensiv an einer Erweiterung und Verbesserung des Materialver-

* Der Vortrag wurde am 04.05.2007 beim Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

ständnisses und einer mathematischen Beschreibung des Materialverhaltens von Holz gearbeitet. Im vorliegenden Beitrag soll der eingeschlagene Weg zu einem mikromechanisch motivierten Materialgesetz skizziert und gleichzeitig ein Rückblick über mehr als ein Jahrzehnt Forschungsaktivität im Bereich Holz am IMWS gegeben werden.

Die Auseinandersetzung mit dem Werkstoff Holz am IMWS startete mit umfangreichen Versuchen an biaxial beanspruchtem Fichtenholz. Ziel war es, grundlegende Einblicke in das Materialverhalten und Daten für eine quantitative Beschreibung des Verformungs- und Festigkeitsverhaltens bei zweiachsiger Beanspruchung zu gewinnen. Eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse ist an den Beginn des vorliegenden Beitrags gestellt. Die mathematische Beschreibung des Deformationsverhaltens von Fichtenholz und dessen Versagenszustände erfolgten mittels eines Mehrflächenplastizitätsmodells, welches im zweiten Teil dieses Beitrags vorgestellt wird. Die Unzulänglichkeiten der rein phänomenologischen Formulierung dieses Modells sowie die eingeschränkte Prognosefähigkeit und die aufwändige Parameterermittlung regten die Anwendung mikromechanischer Methoden an. Den Ergebnissen dieses jüngsten Zweiges der Materialcharakterisierung von Holz am IMWS ist der dritte Teil gewidmet. Schließlich wird im vierten und letzten Teil die Anwendung der vorgestellten Modelle im praktischen Holzbau bei der numerischen Simulation von Holzkonstruktionen gezeigt.

1. Experimentelle Bestimmung biaxialer Festigkeiten

Die Zielsetzung der experimentellen Untersuchungen war die Bestimmung von Daten über das Steifigkeits- und Festigkeitsverhalten von biaxial, schräg zur Faserrichtung in der *LR*-Ebene beanspruchtem Fichtenholz ohne Beschränkung auf den Sonderfall der Koinzidenz einer Materialhaupttrichtung (z.B. Faserlängsrichtung *L*) mit einer Schubspannungsfreien Richtung (Hauptnormalspannungsrichtung). Die dazu notwendige Versuchseinrichtung wurde eigens entwickelt [1]. Sie besteht zum einen aus einer biaxialen servohydraulischen Festigkeitsprüfmaschine zur schrittweisen Aufbringung von Verschiebungsincrementen auf den Holzprobekörper bis zu dessen Bruch, und zum anderen aus einem berührungslos arbeitenden, laser-optischen Messsystem (Speckle-Interferometer) zur flächenhaften quantitativen Deformationsanalyse im 140×140 mm großen Messbereich der scheibenförmigen Holzprobekörper (s. Abb. 1). Dieses Messsystem dient darüber hinaus auch zur Überprüfung der für Werkstoffversuche unerlässlichen Homogenität der Verteilung der Deformationskomponenten im Prüfbereich.

Die experimentelle Untersuchung wurde zunächst auf ausgewähltes, technologisch fehlerfreies und homogenes Fichtenholz beschränkt. Später wurde auch

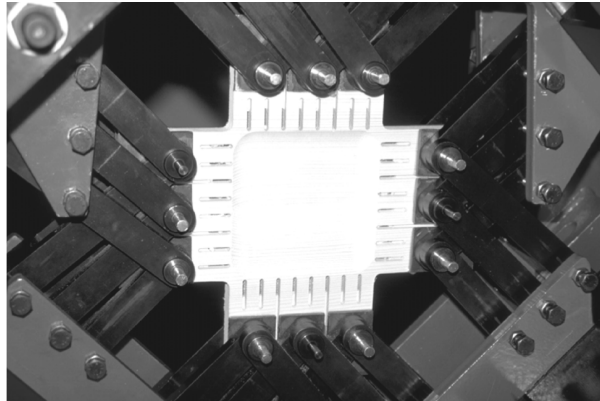


Abb. 1: Kreuzförmiger Holzprobekörper in der biaxialen Belastungseinrichtung

der Einfluss von Ästen auf das mechanische Verhalten von Fichtenholz experimentell untersucht. Durch Klimatisierung der Proben bei einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % wurde die Holzfeuchtigkeit bei $u = 12$ % konstant gehalten. Unter den angeführten Bedingungen werden die mechanischen Eigenschaften von fehlerfreiem Holz im Wesentlichen nur mehr von der Rohdichte beeinflusst. Im ersten Projektstadium wurde eine repräsentative Anzahl einaxialer Normzugversuche parallel und normal zur Faserlängsrichtung (insgesamt etwa 300 Versuche) durchgeführt. Als Ergebnis wurden die rohichtebezogenen elastischen Werkstoffkennwerte (E_L , E_R und ν_{LR}) und einaxialen Zugfestigkeiten ($f_{t,L}$ und $f_{t,R}$) jenes Holzes, aus dem die biaxialen Probekörper hergestellt wurden, erhalten.

Die mechanischen Parameter der 439 durchgeführten biaxialen Bruchversuche waren einerseits der Winkel φ , den die Materialhauptachse L (Faserlängsrichtung) mit der Spannungshauptachse σ_I einschließt, und andererseits das Verhältnis κ der auf den Probekörper aufgetragenen biaxialen Zug-/Zug-, Druck-/Druck- oder gemischten Zug-/Druckbeanspruchung [1]. Die Versuchsdurchführung erfolgte verschiebungsgesteuert durch punktweises Aufbringen von Verschiebungskomponenten sowohl normal als auch parallel zum Rand des Probekörpers. Im Rahmen eines Optimierungsverfahrens wurden mit Hilfe der FE-Methode für die untersuchten Faserneigungen φ jene Normal- und Tangentialkomponenten des Verformungszustandes in den Lasteinleitungspunkten bestimmt, bei denen die korrespondierenden Kräfte lediglich Komponenten aufweisen, die jeweils normal zum Probenrand gerichtet sind. Unter der Voraussetzung homogener Spannungs- und Verzerrungsverteilungen im Messbereich der Proben stellen in diesem Fall die Hauptachsen des Probekörpers die Hauptrichtungen des Span-

nungszustandes dar. Die Hauptnormalspannungen lassen sich dann auf einfache Weise aus den Lasteinleitungskräften bestimmen. Letztere werden mit Hilfe von in den 24 Belastungsachsen integrierten Kraftaufnehmern gemessen.

Im Zuge der beschriebenen Versuchsreihe wurden für verschiedene Winkel φ jeweils die biaxialen Bruchzustände im Hauptspannungsraum bestimmt. Zur Gewährleistung signifikanter experimenteller Resultate wurden für jede Versuchskonfiguration – gekennzeichnet durch die beiden Parameter φ und κ – in der Regel sechs Versuche durchgeführt. Durch Bestimmung der jeweils aktuellen Rohdichte und unter Zugrundelegung der zuvor in der einaxialen Studie ermittelten Zusammenhänge zwischen Rohdichte und einzelnen Festigkeitswerten konnten die nicht erklärbaren Ergebnisstreuungen soweit minimiert werden, dass statistisch eindeutige Aussagen über die gesuchten biaxialen Festigkeitseigenschaften von Fichtenholz getroffen werden können.

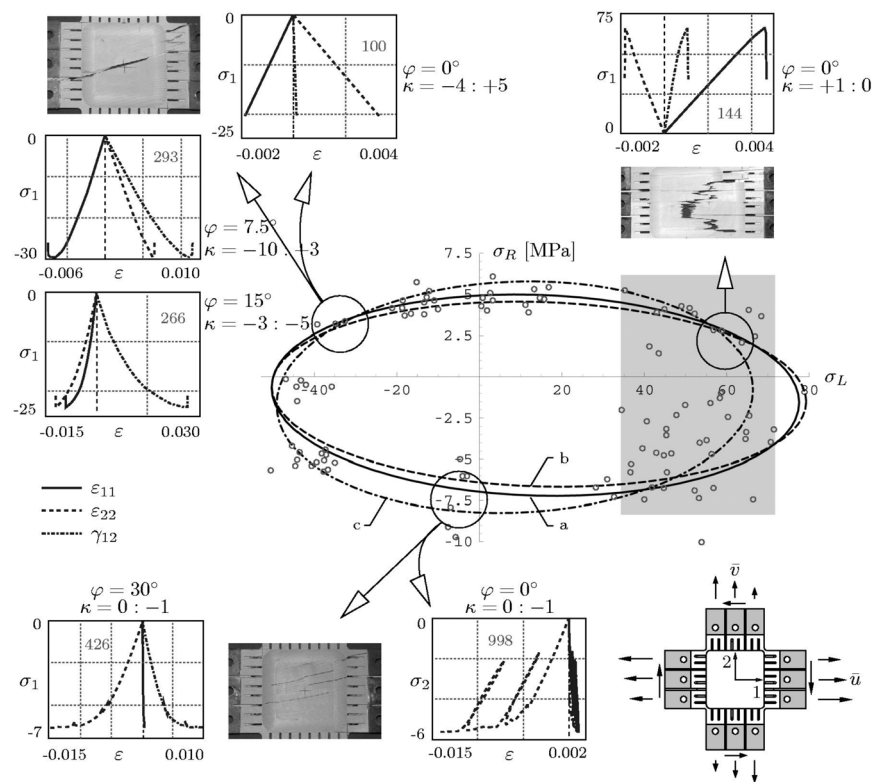


Abb. 2: Charakteristische Spannungs-Verzerrungskurven und Bruchbilder für biaxiale Beanspruchungssituationen

Als Ergebnis jedes Versuches wurden neben den biaxialen Festigkeiten Last-Verschiebungsdiagramme für die einzelnen Lasteinleitungspunkte des Probekörpers sowie die Verteilungen einzelner Deformationskomponenten im Messbereich der Probe erhalten [1]. Die im Rahmen von Werkstoffversuchen zu bestimmenden Spannungs-Dehnungsdiagramme wurden durch Summation der für die einzelnen Lastschritte im Wege von Mittelungsprozessen bestimmten Spannungs- und Verzerrungsinkremente erhalten. Je nach Art der Beanspruchung erfolgte das Versagen spröde oder duktil, wie in Abb. 2 anhand von charakteristischen Spannungs-Dehnungskurven und Bruchbildern für drei Abschnitte der Versagensfläche gezeigt wird. Das nichtlineare Materialverhalten und die je nach Versagensform stark unterschiedlichen Spannungs-Dehnungszusammenhänge können mit den derzeit angewendeten Berechnungsverfahren nicht berücksichtigt werden. Vielmehr bedarf es der Formulierung von konstitutiven Modellen im Rahmen der orthotropen Elastizitäts- und Plastizitätstheorie. Auf Grundlage der gezeigten Versuchsergebnisse wurde ein solches biaxiales konstitutives Modell für Fichtenholz am IMWS entwickelt.

2. Mehrflächenplastizitätsmodell

Um die Ergebnisse der biaxialen Versuche für Struktursimulationen nutzen zu können, ist eine mathematische Beschreibung des elastischen Werkstoffverhaltens und insbesondere des Bruchverhaltens von Holz notwendig. Dies erfolgt in Form von Versagensflächen, welche im initialen Zustand den Bereich linear elastischen Materialverhaltens im Spannungsraum begrenzen. Wird die Beanspruchung nach Erreichen des elastischen Grenzzustands weiter gesteigert, kann es zu einer Ver- oder Entfestigung des Materials und damit zu einer Veränderung der Versagensfläche im Spannungsraum kommen. Dies wird durch so genannte Evolutionsgesetze mathematisch beschrieben.

Die biaxialen Versuche liefern für das mathematische Modell sowohl eine quantitative Grundlage (Hauptspannungspaare (σ_1, σ_2) beim Versagenseintritt) als auch eine qualitative Basis (Spannungs-Dehnungskurven). Eine Analyse der Spannungs-Dehnungskurven zeigt, dass je nach Beanspruchungsart unterschiedliche Versagensmechanismen auftreten, wie in Abb. 2 ersichtlich ist. Diese lassen sich zu vier Grundtypen zusammenfassen [2]:

- (i) sprödes Zugversagen in Faserrichtung mit kaskadenartigem Splitterbruch,
- (ii) sprödes Versagen durch kombinierte Zug- und Schubbeanspruchung quer zur Faser mit glattem, dem Faserverlauf folgenden Bruch,
- (iii) duktiles Druckversagen quer zur Faser mit ausgeprägtem Verdichtungs- und Verfestigungsverhalten, und
- (iv) Druckversagen in Faserrichtung unter Ausbildung von lokalen bandartigen Schädigungszonen.

Die unterschiedlichen mechanischen Charakteristiken der einzelnen Versagensformen in Hinblick auf Versagenseintritt und Ver- bzw. Entfestigungsverhalten waren die Motivation für die Formulierung jeweils eigener Versagensflächen für die vier Grundversagsfälle, wie in Abb. 3 dargestellt. Diese Abbildung zeigt die initialen Versagensflächen im durch die Spannungskomponenten $\sigma_L, \sigma_R, \tau_{LR}$ aufgespannten Spannungsraum sowie deren Projektion in die σ_L - σ_R -Ebene. Auf die mathematische Formulierung der einzelnen Flächen und die verwendeten Versagskriterien wird in dieser Überblicksdarstellung nicht eingegangen, sie finden sich zum Beispiel in [2,3]. Offensichtlich dominieren die Flächen mit Bezug auf radiale Beanspruchungen (Druck oder Zug/Schub) das Materialverhalten. Zugversagen der Fasern ist nur in einem sehr engen Bereich von Spannungsverhältnissen relevant und tritt bei Faserwinkeln $\varphi > \pm 10^\circ$ praktisch nicht mehr auf. Zusätzlich ist in Abb. 3(b) durch Pfeile angedeutet, wie sich die Versagensflächen nach Erreichen der elastischen Grenzlast gemäß den Evolutionsgesetzen verändern. Bei Druckbeanspruchung tritt stets eine Verfestigung auf, d.h. die Versagensfläche verschiebt sich im Spannungsraum vom Ursprung weg, womit ein weiterer Spannungszuwachs möglich wird. Bei Zugbeanspruchung kommt es hingegen zur Entfestigung des Materials, d.h. zu einer Verschiebung der Versagensfläche in Richtung des Ursprungs. Eine weitere Steigerung der Deformationen ist dann nur bei Reduktion der Beanspruchung und damit der Spannungen möglich. Für die mathematische Formulierung der Evolutionsgesetze wird wieder auf [2,3] verwiesen.

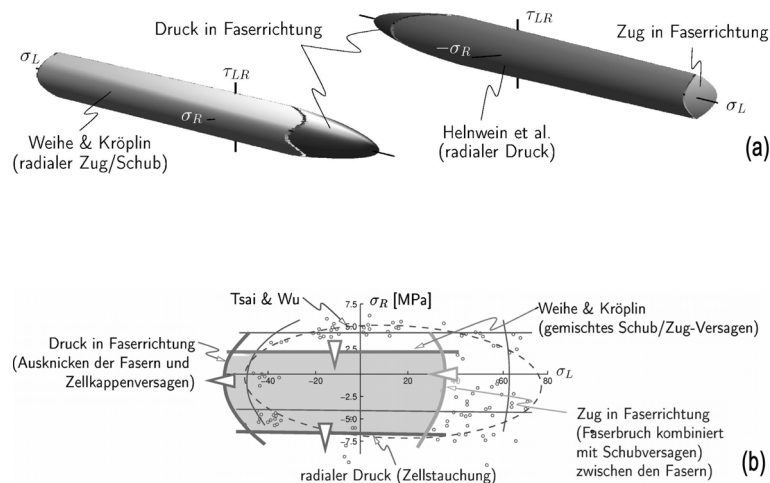


Abb.3: Versagensflächen im Spannungsraum. (a) Darstellung im σ_L - σ_R - τ_{LR} -Spannungsraum. (b) Projektion in die σ_L - σ_R -Ebene

Dieses Modell ist auf Basis der thermodynamischen Grundgesetze für orthotropes Materialverhalten formuliert. Es enthält sowohl physikalische Parameter, wie einachsige Festigkeiten und Bruchenergien, als auch phänomenologische Parameter. Diese können für fehlerfreies Fichtenholz anhand der Ergebnisse aus den biaxialen Experimenten identifiziert werden.

Zum Vergleich ist in den Abbildungen 2 und 3(b) auch die elliptische Versagensfläche nach TSAI & WU [4] eingetragen. Dieses Einflächenmodell ist für orthotrope Werkstoffe gut geeignet und wird daher in der Literatur häufig verwendet. Es ergibt eine gute Beschreibung der initialen Versagensfläche, erlaubt jedoch nur bedingt ein je nach Versagensform unterschiedliches Nachbruchverhalten (d.h. Verfestigung bzw. Entfestigung) zu berücksichtigen. Trotz dieser Einschränkung wurde das Einflächenmodell wegen seiner Einfachheit bei den im letzten Teil dieses Beitrags vorgestellten Struktursimulationen verwendet.

Das beschriebene Mehrflächenplastizitätsmodell ist für fehlerfreies Fichtenholz mit Beanspruchung in der LR -Ebene formuliert. Die Beschränkung auf in der LR -Ebene gespannte Holzelemente kann durch Einführung eines so genannten \overline{RT} -Äquivalents, das für eine beliebige Richtung in der transversalen Ebene (RT -Ebene) gilt, aufgehoben werden. Die Abkürzung \overline{RT} bezeichnet damit, wie im Holzbau üblich, die fasernormale Richtung. Diese Zusammenführung des mechanischen Verhaltens in R - bzw. in T -Richtung zu einem \overline{RT} -Äquivalent ist für die überwiegende Mehrzahl von Untersuchungen gerechtfertigt, da die Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften in R - und T -Richtung im Vergleich zur L -Richtung deutlich geringer und vernachlässigbar sind [5]. Das Werkstoffgesetz für die $L\overline{RT}$ -Ebene erhält man durch Ersetzen aller auf die R -Richtung bezogenen Größen durch entsprechende \overline{RT} -Werte. Die benötigten Materialparameter ergeben sich als gewichtete Mittelwerte aus den getrennt für die R - und die T -Richtung experimentell bestimmten Materialkennwerten. Die Gewichtung erfolgt gemäß der nach üblichen Schnittmustern in Fichtenholzbrettern auftretenden R - und T -Anteile [5].

Um die praktische Anwendbarkeit des Plastizitätsmodells zu erhöhen, wurde das Modell um die Berücksichtigung von Holzmerkmalen erweitert. Die Einbeziehung der globalen Schrägfasrigkeit von Brettern (Faserneigung) ist durch die Verwendung eines orthotropen Modellgesetzes ohne zusätzliche Maßnahmen möglich. Der Einfluss von Ästen und der damit verbundenen lokalen Faserabweichungen auf das mechanische Verhalten wird über einen dimensionslosen Astfaktor ksa (*knotsumarea*) definiert [5,6]. Dieser Faktor stellt die in Brettlängsrichtung ausgewertete Summe der Astbreiten dar. Die stärkere Auswirkung eines Kantenastes wird mittels eines Erhöhungsfaktors für die Breite des angeschnittenen Astes berücksichtigt. Der Astfaktor kann durch Adaptierung der Software der derzeit in der Holzindustrie eingesetzten automatischen Sortieranlagen erfasst werden.

Der Einfluss von Ästen und der lokalen Faserabweichungen um die Äste auf die Steifigkeitseigenschaften, d. h. auf die elastischen Materialkennwerte, erfolgt lediglich entsprechend dem geringen Volumenanteil dieser in lokal sehr beschränkten Bereichen auftretenden Holzmerkmale und wird deshalb vernachlässigt. Die Auswirkung lokaler Störungen in Form von Ästen auf die Festigkeitseigenschaften ist dagegen beträchtlich. Sie wird durch Verändern (Schrumpfen) der initialen Fließfläche für fehlerfreies Fichtenholz über eine Abminderung der ins Modell eingehenden Extremwerte der Fließspannungen in Abhängigkeit vom Astparameter berücksichtigt [6].

3. Mikromechanisches Modell

Beim Werkstoff Holz hängt die Art des Versagens sehr stark von der Beanspruchungsart ab. Es bestehen große Unterschiede in der Festigkeit bei Zug- und Druckbeanspruchung bzw. bei Belastung längs und quer zur Faser, welche aus dem äußerst inhomogenen Aufbau von Holz resultieren. Im Plastizitätsmodell wurde versucht, den unterschiedlichen Versagensmechanismen durch verschiedene, mikromechanisch motivierte Versagensflächen gerecht zu werden. Dies ermöglicht allerdings nur die Beschreibung der Auswirkungen der inhomogenen Mikrostruktur auf der Makroebene auf phänomenologische Weise und damit die Abschätzung des Materialverhaltens für nicht getestete Beanspruchungszustände. Eine Extrapolation auf das Verhalten von vorab nicht getesteten Holzproben ist jedoch nicht möglich, da die physikalischen Effekte und die Zusammenhänge zwischen der Mikrostruktur und dem mechanischen Verhalten des Materials keinen Eingang finden.

Mit dem Plastizitätsmodell kann also die große Variationsbreite mechanischer Kennwerte unterschiedlicher Holzarten und -proben anhand deren unterschiedlicher mikrostruktureller (chemischen und morphologischen) Kennwerte nicht erklärt werden. Dies veranlasste die Anwendung von Homogenisierungsverfahren am IMWS zur Formulierung eines mikromechanischen Modells für das mechanische Verhalten von Holz.

Kern des zuletzt genannten Modells ist die Identifizierung universeller Grundbausteine und morphologischer Strukturen in Holz. Mit Lignin, Hemizellulose, Zellulose und Wasser finden sich auf der Nanometerskala solche von der Holzart unabhängige Grundbausteine mit universellen mechanischen Eigenschaften [7]. Die damit verbundene hierarchische Struktur von Holz ist in Abb. 4 schematisch dargestellt: Lignin, Hemizellulose und Wasser bilden eine amorphe Polymermatrix, in welche die teils kristallinen, teils amorphen Zellulosefasern eingebettet sind. Dieses Zellwandmaterial ist von zylindrischen Poren durchdrungen, welche bei Nadelhölzern alle etwa gleiche Größenordnung aufweisen, bei Laubhölzern jedoch aufgrund des Vorhandenseins von Gefäßen mit wesentlich größeren Lumen eine zweiskalige Porosität erzeugen.

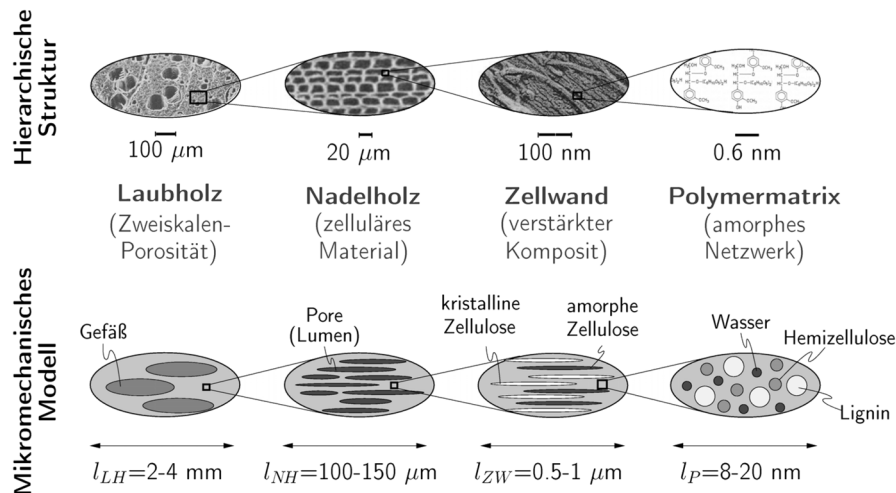


Abb. 4: Hierarchische Struktur von Holz und deren Abbildung im mikromechanischen Modell

Die Repräsentierung dieser Mehrskalenstruktur im Rahmen der Methode der Kontinuumsmechanik ist ebenfalls in Abb. 4 skizziert. Dieses Homogenisierungsverfahren ermöglicht es, auf semi-analytische Weise einen Zusammenhang zwischen den mechanischen Eigenschaften der Grundbausteine und den entsprechenden makroskopischen Steifigkeits- und Festigkeitskennwerten von Holz herzustellen. In jedem der vier Homogenisierungsschritte, die jeweils Skalenübergänge bilden, wird dabei für das (mikro-)heterogene Material ein äquivalentes homogenes Material mit effektiven mechanischen Materialkennwerten ermittelt, welches bei homogener Beanspruchung gleiches mechanisches Verhalten aufweist. Als Eingangsdaten werden lediglich die holzartenspezifische chemische Zusammensetzung sowie die Rohdichte und der Wassergehalt des betrachteten Holzstückes benötigt. Diese Daten sind leicht ermittelbar und ermöglichen so eine vielseitige Einsetzbarkeit dieses Modells. Derzeit lassen sich mit dem mikromechanischen Modell der Steifigkeitstensor von Holz, d.h. alle neun elastischen Konstanten des orthotropen Werkstoffs sowie elastische Grenzzustände bei beliebiger Beanspruchung des Materials vorhersagen [7,8]. Die semi-analytischen Gleichungen, welche für die Materialkennwerte erhalten werden, können mit FE-Simulationen von Holzkonstruktionen gekoppelt und dabei am Integrationspunkt für die lokal auftretenden mikrostrukturellen Parameter ausgewertet werden.

Der Nutzen des Modells liegt neben der Ermittlung von Materialkennwerten für Struktursimulationen insbesondere darin, Einblick in die Funktionsweise des

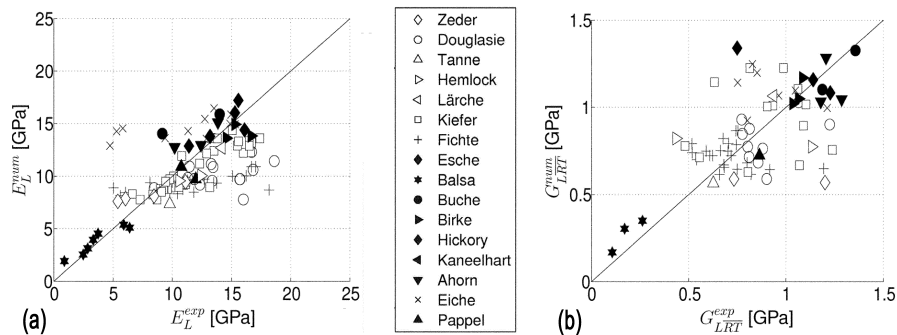


Abb. 5: Validierung des mikromechanischen Modells durch Vergleich von numerischen und experimentellen Ergebnissen. (a) Longitudinaler Elastizitätsmodul E_L . (b) Longitudinaler Schubmodul G_{LRT} .

Werkstoffs Holz zu gewinnen und die Untersuchung physikalischer Phänomene auf der Längenskala ihres Auftretens zu ermöglichen

Das Modell wurde durch Vergleich von Simulationsergebnissen mit entsprechenden Messwerten für sehr umfangreiche Sätze von Steifigkeits- und Festigkeitsdaten validiert. Stellvertretend sind in Abb. 5 Korrelationsplots für den Elastizitätsmodul und den Schubmodul in longitudinaler Richtung dargestellt. Der Mittelwert und die Standardabweichung der normierten Abweichungen zwischen numerischen und experimentellen Ergebnissen betragen 8.2 ± 25.5 % für E_L und 1.3 ± 27.4 % für G_{LRT} . Die geringen Abweichungen beeindrucken insbesondere im Hinblick auf die Vielzahl der betrachteten Holzarten und Probestück (118 Proben aus 16 Holzarten bei E_L und 73 Proben aus 14 verschiedenen Holzarten bei G_{LRT}). Aufgrund der Unabhängigkeit der Eingangsdaten in das Modell und der zum Vergleich herangezogenen makroskopischen Messwerte mechanischer Kenngrößen konnte durch diesen Vergleich die Vorhersagefähigkeit des Modells bestätigt werden. Weitere Vergleiche von numerischen Schätzwerten und experimentellen Daten, insbesondere auch für die vorhin besprochenen biaxialen Versuche, finden sich in [7-9].

4. Anwendungsbeispiele

Mit den vorgestellten Plastizitätsmodellen und dem kontinuumsmechanischen Modell stehen leistungsfähige Werkzeuge für die numerische Simulation von Holz und Holzwerkstoffen zur Verfügung. Mit ihnen lässt sich eine Vielzahl an holzbaupraktischen Aufgabenstellungen bewältigen. Aufwändige räumliche Schalenkonstruktionen können ebenso analysiert werden wie lokale

Schwachstellen von Konstruktionen, seien es ein Durchbruch in einem Träger oder eine Ausklinkung. Weiters erlauben derartige Plastizitätsmodelle genaue Analysen von Verbindungsmitteln und der von ihnen hervorgerufenen lokalen Beanspruchungszustände in den Holzbauteilen. Über das physikalisch basierte mikromechanische Modell ist außerdem die Berücksichtigung von viskosen Effekten oder klimatischen Einflüssen auf das Materialverhalten auf direkte Weise möglich.

Im Folgenden wird der Einsatz der beschriebenen Plastizitätsmodelle in numerischen Simulationen anhand von zwei ausgewählten baupraktischen Aufgabenstellungen – einer komplexen dreidimensionalen Struktur („Tonnenschale“) und einem Knoten mit vorwiegend eindimensionalen Holzelementen („Dreibock“) – näher erläutert.

4.1. Tonnenschale mit Öffnung

Das erste Beispiel zeigt die Ermittlung der Spannungsverteilung in einem Tonnendach mit einer quadratischen Öffnung im Firstbereich. Die numerische Simulation erfolgt mittels der Methode der Finiten Elemente unter Einsatz des Einflächenplastizitätsmodells.

Die Tonnenschale weist eine Länge von 10 m in der Axialrichtung und eine Breite von 8 m auf (vgl. Abb. 6). Sie ist an beiden geraden Rändern gelenkig gelagert, an den kreisförmigen Rändern ist die Verschiebung in vertikaler Rich-

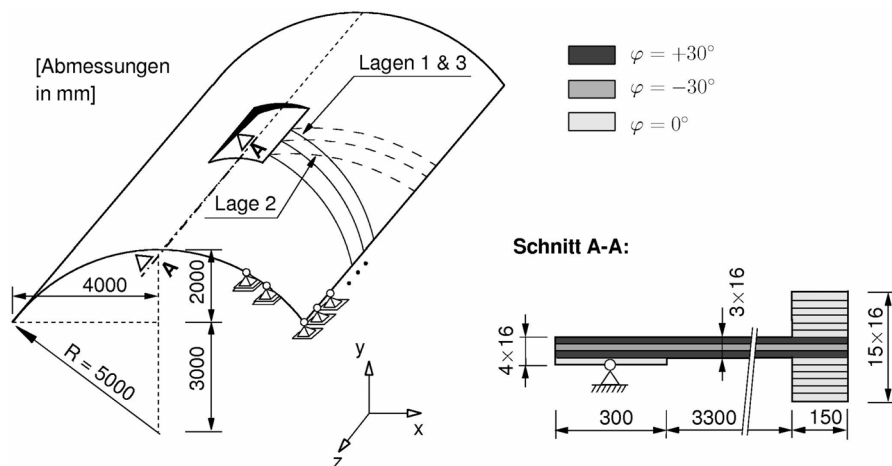


Abb. 6: Abmessungen und Aufbau der Tonnenschale

tung verhindert. Die Schale besteht aus drei Lagen Fichtenholzbrettern mit Dicken von jeweils 16 mm. In den äußeren Schichten sind die Bretter in einem Winkel von $\varphi = +30^\circ$ zur vertikalen xy -Ebene angeordnet, während in der mittleren Lage die Anordnung in einem Winkel von $\varphi = -30^\circ$ erfolgt. Die äußeren Ränder sind durch eine zusätzliche, 30 cm breite Schicht von parallel zu den Rändern verlaufenden Brettern verstärkt.

Im Zentrum der Tonnenschale befindet sich eine Öffnung mit einer Größe von 2.50×1.50 m. Die Ränder der Öffnung sind durch einen Brettschichtholzträger mit den Abmessungen 150×240 mm ausgesteift (s. Schnitt A-A in Abb. 6). Dieser besteht aus der Schalenstruktur in der Mitte und 12 Verstärkungsbrettern mit je 16 mm Dicke, jeweils sechs auf der Ober- und der Unterseite der Schale. Es wird angenommen, dass bei allen Brettern die Faserrichtung (L -Richtung) mit der Orientierung φ übereinstimmt. Die Materialparameter sind in [10] angegeben.

Auf die Schale wirkt ein konstantes Eigengewicht von 0.216 kN/m^2 und eine Nutzlast von 225 kN, welche gleichmäßig entlang des Versteifungsbalkens um die Öffnung verteilt ist.

Die FE-Simulation wurde mit dem Programm MSC.marc durchgeführt. Das FE-Modell besteht aus 1484 vierseitigen Schalenelementen mit 11 Integrationspunkten über die Dicke.

In der Schale treten sowohl Membran- als auch Biegedeformationen auf. Letztere sind in der Nähe der Öffnung dominant und rufen dort signifikante Spannungskonzentrationen hervor (Abb. 7). Die Extremwerte der Normalspannung in den Fasern, σ_L , (s. Abb. 7(a)) treten in der Schale am Übergang zum Versteifungsträger um die Öffnung im Eckbereich auf und bleiben unter der Druckfestigkeit in L -Richtung. Die maximalen Schubspannungen in der Schalenebene, τ_{LR} , (s. Abb. 7(b)) erreichen jedoch beinahe die Größe der Anrissspannungen.

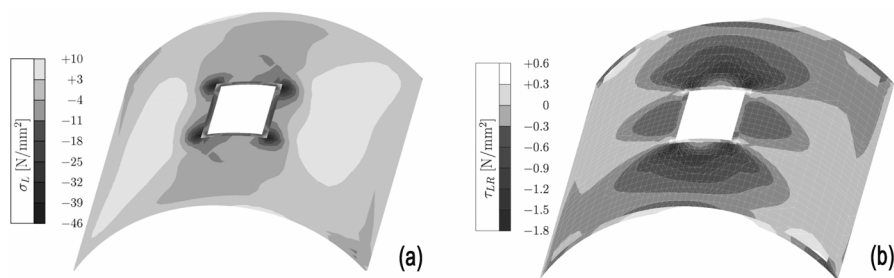


Abb. 7: Spannungsverteilung in der Schale. (a) Normalspannung in Faserrichtung, σ_L , in der obersten Schicht. (b) Schubspannung τ_{LR} in der Ebene der Mittelschicht

Neben der auftretenden Spannungsverteilung liefert das Plastizitätsmodell auch Information über die aktiven Versagensmechanismen und das Ausmaß inelastischer Deformationen. Diese bleiben im vorliegenden Beispiel auf die unmittelbare Nähe der Öffnung beschränkt und werden vor allem durch Zellstauchung infolge von Druck normal zur Faserrichtung und durch Rissbildung unter Schubbeanspruchung hervorgerufen. Die Ergebnisse der Simulation, insbesondere die Identifizierung kritischer Bereiche in der Schale, bilden eine hervorragende Basis für eine strukturelle Optimierung der Konstruktion mit dem Ziel der Erhöhung von Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit. Mit herkömmlichen, in der Regel eindimensionalen, Materialmodellen für Holz wären solche Betrachtungen unmöglich.

4.2. Dreibock

Das zweite Beispiel, ein Dreibock, soll verdeutlichen, dass keineswegs nur aufwändige Strukturen wie die Tonnenschale die Anwendung dreidimensionaler Materialmodelle erfordern. Vielmehr treten auch bei den Pfostenkonstruktionen des klassischen Holzbaus im Bereich der Verbindungen Versagen verursachende räumliche Beanspruchungen auf, welche die Anwendung von häufig eingesetzten eindimensionalen Betrachtungsweisen für die Analyse und Bemessung solcher Konstruktionsdetails einschränken oder gar ausschließen. Weitere Anforderungen an das Materialmodell ergeben sich im vorliegenden Beispiel aus dem ausgesprochen duktilen Versagensmechanismus der Dreibock-

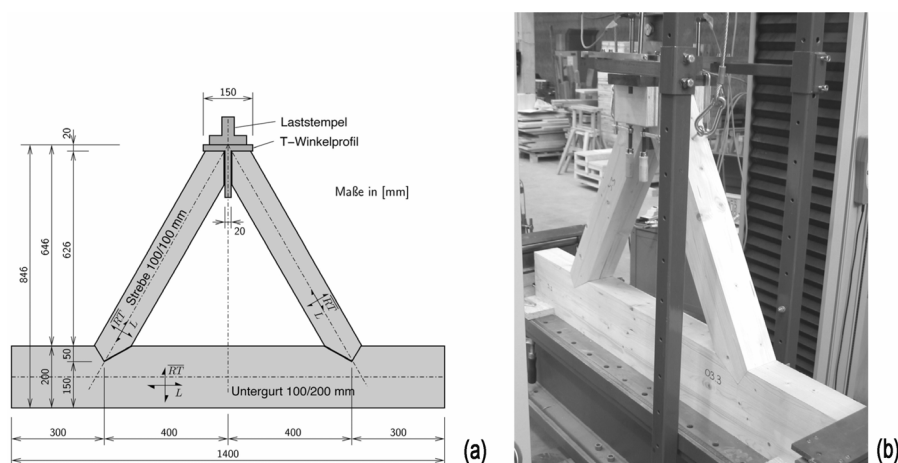


Abb. 8: Dreibock. (a) Abmessungen der Konstruktion. (b) Versuchsaufbau

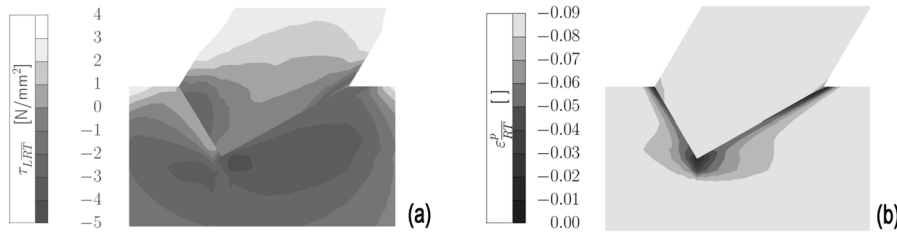


Abb. 9: Versatzbereich im Traglastzustand. (a) Transversale Normalspannung σ_{RT} . (b) Plastische Verzerrung ϵ_{RT}^p

konstruktion. Die Bestimmung der Traglast bedarf einer korrekten Beschreibung der plastischen Deformationen in der vorwiegend auf Querdruck beanspruchten Struktur durch das Materialmodell. Das Einflächenplastizitätsmodell erfüllt die beschriebenen Anforderungen und wird für die im Folgenden beschriebenen numerischen Simulationen verwendet.

Der Dreibock ist aus einem Untergurt der Dimension 100/200 mm und zwei Streben der Dimension 100/100 mm aufgebaut. Die genauen Abmessungen sind Abb. 8(a) zu entnehmen, die Materialparameter sind in [6] angegeben.

Aufgrund der Symmetrie von Belastung und Struktur wird nur eine Hälfte der Konfiguration im FE-Modell berücksichtigt. Die Beanspruchung der FE-Struktur erfolgte durch Vorgabe vertikaler Verschiebungen in jenen Knotenpunkten des T-förmigen Stahlwinkels, die mit dem Laststempel in Kontakt sind.

Die FE-Simulation gibt Aufschluss über die Spannungsverteilung im Versatzbereich. Die hohe Querdruckbeanspruchung des Untergurts (Abb. 9(a)) führt zur Ausbildung ausgeprägter Zonen mit plastischen Deformationen (Abb. 9(b)). Bis zum Erreichen der Traglast infolge Druckversagen in RT -Richtung können deutliche plastische Tragreserven aktiviert werden. Das duktile Verhalten der Konstruktion zeigt sich auch am ausgeprägt nichtlinearen Verlauf des Last-Verschiebungsdiagramms (Abb. 10), in welchem die Summe der vertikalen Reaktionskräfte in den korrespondierenden Knoten der Lasteinleitung in Abhängigkeit von der Absenkung aufgetragen sind.

Die Validierung des FE-Modells erfolgte durch Versuche im Bautechnikzentrum der TU Graz (s. Abb. 8(b) für den Versuchsaufbau). Die Belastung wurde verschiebungsgesteuert mit einer Deformationsgeschwindigkeit von 0.7 mm/min vorgenommen.

Der Verlauf der resultierenden Kräfte der Prüfmaschine in Abhängigkeit von der Absenkung der Traverse ist in Abb. 10 im Vergleich mit dem Last-Verschiebungsdiagramm aus der numerischen Simulation dargestellt. Qualitativ stimmt der

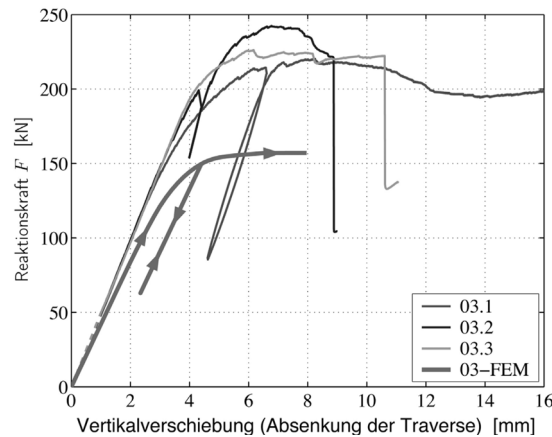


Abb. 10: Last-Verschiebungsdiagramm – numerische und experimentelle Ergebnisse

deutlich nichtlineare Verlauf der Last-Verschiebungs-Kurve der FE-Berechnung bis zum Erreichen der Traglast gut mit den Versuchsergebnissen überein.

Die Größe der Traglast der FE-Simulation liegt jedoch deutlich unter den in den Versuchen erreichten Traglasten. Zusätzlich zu den üblichen Streuungen der Materialkennwerte im Holzbau ist die Beschränkung auf kleine Verzerrungen im Simulationsmodell ein möglicher Grund für die zu gering berechnete Traglast. Für den dominierenden Versagensmechanismus "Druckbeanspruchung in *RT*-Richtung" kommt es bei großen Verzerrungen zu einer Verfestigung, welche im Werkstoffmodell nicht berücksichtigt ist. Dies kann auf Strukturebene zu höheren Traglasten führen. Weiters wurde die Bestimmung der initialen Fließspannung für Druckbeanspruchung in *RT*-Richtung anhand einer geringen Anzahl von Experimenten durchgeführt. Zur Absicherung dieses Materialparameters sind für diesen Beanspruchungsfall weitere Werkstoffversuche erforderlich.

In beiden Anwendungsbeispielen könnten mit den herkömmlichen, in der Regel eindimensionalen Materialbetrachtungen für Holz keine oder nur unrealistische Ergebnisse erhalten werden. Erst der Einsatz leistungsfähiger Materialmodelle, die das orthotrope Verhalten von Holz in einer dreidimensionalen Formulierung berücksichtigen und auch eine Beschreibung des inelastischen Verhaltens bieten, ermöglicht Einblicke in das Material- und Strukturverhalten. Die Ergebnisse eröffnen neue Wege in der Bauteilbemessung und -optimierung.

In der Weiterentwicklung der mikromechanischen Modelle steckt enormes Potential. Sie stellen eine ideale Ergänzung zu den bereits ausgereiften Plastizitätsmodellen dar, indem sie die Ermittlung von Eingabedaten für diese Modelle in

Abhängigkeit von mikrostrukturellen Kenngrößen ermöglichen. Ganz wesentlich ist die durchgängige Begleitung der Entwicklung numerischer Modelle mit Experimenten. Sie geben Einblick in das Materialverhalten, erlauben die Identifikation von Materialparametern, sowie letztendlich die Validierung bestehender Modelle.

Literatur

- [1] J. EBERHARDSTEINER: Mechanisches Verhalten von Fichtenholz – Experimentelle Bestimmung der biaxialen Festigkeitseigenschaften. Springer Verlag (2002).
- [2] P. MACKENZIE-HELNWEIN, J. EBERHARDSTEINER & H.A. MANG: Computational Mechanics 31 (2003).
- [3] P. MACKENZIE-HELNWEIN, J. EBERHARDSTEINER & H.A. MANG: Proc. COMPLAS 2003, Barcelona (2003).
- [4] S.W. TSAI & E.M. WU: Journal of Composite Materials 5 (1971).
- [5] M. FLEISCHMANN: Dissertation, TU Wien (2005).
- [6] M. FLEISCHMANN, H. KRENN, J. EBERHARDSTEINER & G. SCHICKHOFFER: Holz als Roh- und Werkstoff 65 (2007).
- [7] K. HOFSTETTER, CH. HELLMICH & J. EBERHARDSTEINER: European Journal of Mechanics A-Solids 24 (2005).
- [8] K. HOFSTETTER, CH. HELLMICH, J. EBERHARDSTEINER & H.A. MANG: Mechanics of Advanced Materials and Structures, im Druck.
- [9] K. HOFSTETTER, CH. HELLMICH & J. EBERHARDSTEINER: Pre-Proc. of Int. Conf. on 'Integrated Approach to Wood Structure, Behaviour and Applications', Florenz (2006).
- [10] P. MACKENZIE-HELNWEIN, H.W. MÜLLNER, J. EBERHARDSTEINER & H.A. MANG: Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 194 (2004).

FESTVERSAMMLUNG IM ALTSTADTRATHAUS

Prof. Dr.rer.nat. Dr. h.c. JOACHIM KLEIN

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Begrüßung

Meine sehr verehrten Damen und Herren,
verehrte Gäste,

zur Geburtstagsfeier für Carl Friedrich Gauß, der fast auf den Tag genau (am 30. April) vor 230 Jahren in Braunschweig zur Welt kam, darf ich Sie alle hier in der Dornse des Braunschweiger Altstadtrathauses sehr herzlich begrüßen. In unserer Satzung wird dieser Geburtstag mit der Verleihung der Gauß-Medaille verknüpft, und dafür bietet die „Feierliche Jahresversammlung“ unserer wissenschaftlichen Gesellschaft den geeigneten Rahmen. Seien Sie uns also auch zu dieser – in unserem Jahresprogramm herausragenden – Veranstaltung sehr herzlich willkommen.

Ihnen, sehr geehrter Herr Oberbürgermeister Dr. Hoffmann, gilt mein erster persönlicher Willkommensgruß, den ich zugleich mit meinem herzlichen Dank für die Gewährung der Gastfreundschaft in den festlichen Räumen der Stadt Braunschweig verbinden darf.

In Ergänzung zu unserem Programm werden Sie im Anschluss an meine Begrüßung ein Grußwort an uns richten. Im Jahr ‚Stadt der Wissenschaft 2007‘ ist dies ein deutliches Zeichen der immer enger werdenden Verbindung der Stadt mit der Wissenschaft und Ihres damit verbundenen besonderen persönlichen Engagements. Dafür gebührt Ihnen unser aller Dank.

Aus den Parlamenten des Landes und der Stadt darf ich unsere gewählten Vertreter Isolde Saalmann und Mathias Möreke in unserem Kreis herzlich begrüßen.

Für die Universitäten unseres Landes, denen wir natürlich durch viele Mitglieder und wissenschaftliche Kooperationen eng verbunden sind, begrüße ich Herrn Präsident Jürgen Hesselbach von der TU Braunschweig und Herrn Vizepräsident Hans-Peter Beck von der TU Clausthal.

Die ForschungRegion Braunschweig e.V. mit ihren 27 Mitgliedern war und ist der Motor des Projekts ‚Stadt der Wissenschaft‘, wenn es um die wissenschaftlichen Inhalte geht. So freue ich mich, aus dem Kreis der Leiter dieser Institutionen, neben den schon genannten Universitätspräsidenten, Herrn Georg Backhaus

als Präsident der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Herrn Gerd Biegel als Direktor des Braunschweigischen Landesmuseums und Herrn Wernt Brewitz als Leiter der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit heute herzlich begrüßen zu können.

Es ist immer wieder eine Ehre und besondere Freude, wenn ich die Repräsentanten der deutschen Akademien der Wissenschaft so zahlreich in unserer Mitte begrüßen und für Ihr Kommen danken darf. An ihrer Spitze den Präsidenten der Union, Herrn Gerhard Gottschalk, sowie Herrn Roland Bulirsch als Vertreter der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München, Herrn Werner Köhler, Präsident der Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt, Herrn Helmut Moritz als Vertreter der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Herrn Heimo Reinitzer als Präsident der Akademie der Wissenschaften in Hamburg, Herrn Herbert Roesky als Präsident der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, Herrn Hartmut Worch als Vertreter der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig.

Weiterhin begrüße ich sehr herzlich Herrn Propst Thomas Hofer als Vertreter der Evangelischen Landeskirche, Herrn Tobias Henkel als Direktor der Stiftung Braunschweigischer Kulturbesitz und Herrn Wolf Horenburg als Vorsitzenden des Aufsichtsrats der traditionsreichen Wolter Hofbrauhaus AG.

Zur Ehrung des Preisträgers der Gauß-Medaille und zur Präsentation des damit verbundenen Fachgebiets veranstalten wir am Vormittag des Gauß-Tages traditionell ein wissenschaftliches Kolloquium, das in diesem Jahr dem Thema

„Computerbasierte Forschung im Bauwesen“

gewidmet war. Zum Erfolg dieses Kolloquiums haben die drei vortragenden Professoren Ernst Rank, TU München, Ekkehard Ramm, Universität Stuttgart, und Josef Eberhardsteiner, TU Wien, gemeinsam mit Professor Erwin Stein als Moderator beigetragen. Mit bestem Dank für Ihr Engagement heiße ich Sie in unserer Mitte herzlich willkommen.

Mit dem Stichwort Preisträger ist es endlich auch geboten, als Ehrengast unserer Festveranstaltung Herrn Professor Dr. Herbert Mang, Professor für Festigkeitslehre an der Technischen Universität Wien, und seine verehrte Frau Gemahlin besonders herzlich zu begrüßen.

Auch ohne Namensnennung, aber deswegen nicht weniger herzlich, begrüße ich alle Anwesenden, die als Gäste aus Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Öffentlichkeit heute zu uns gekommen sind.

Schließlich begrüße ich herzlich alle Mitglieder unserer Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft und ihre Begleitung, insbesondere auch unsere neuen Mitglieder – sowie die Witwen unserer verstorbenen Mitglieder, die

uns durch ihre Anwesenheit die bleibende Verbundenheit zum Ausdruck bringen.

Bericht

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

es entspricht nicht nur einer Verpflichtung unserer Satzung, sondern auch einem Bedürfnis zur offenen Information über das Denken und Handeln unserer Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, wenn ich Ihnen nunmehr in kurzen Zügen einen Bericht über das abgelaufene akademische Jahr gebe und dabei auch ein wenig in die Zukunft blicke.

Doch zu Beginn wollen wir gemeinsam unserer verstorbenen Mitglieder gedenken.

Nachrufe

Es verstarben im Berichtsjahr:

am

- 18.07.2006 im Alter von 74 Jahren Dr.-Ing. Dr.h.c. Alfred Mühlbauer, Professor für Elektrowärme an der Leibniz Universität Hannover. Ordentliches Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1994.
- 13.08.2006 im Alter von 94 Jahren Dr.-Ing. Dr.h.c.mult. Walter Henn, Professor emeritus für Baukonstruktionen und Industriebau, TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied der Klasse für Bauwissenschaften bzw. Ingenieurwissenschaften seit 1967.

An einem Tag wie dem heutigen, an dem die Wissenschaft des Bauwesens im Mittelpunkt steht, verdient auch das reiche Lebenswerk des Forschers, Lehrers und Architekten Walter Henn noch einmal besonders hervorgehoben zu werden.

Sie, meine Damen und Herren, haben sich zu Ehren der Verstorbenen von Ihren Plätzen erhoben – ich danke Ihnen.

Zuwahlen und personeller Stand der BWG

Neue wissenschaftliche und persönliche Impulse erfährt unsere Gesellschaft durch die Zuwahlen, die zu folgenden Ergebnissen geführt haben:

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Zum ordentlichen Mitglied in der Wahlsitzung vom **08.12.2006**:

- Prof. Dr.rer.nat. Karl-Joachim **Wirths**,
Professor für Mathematik an der Technischen Universität Braunschweig

Klasse für Ingenieurwissenschaften

Zu ordentlichen Mitgliedern in der Wahlsitzung vom **08.12.2006**:

- Prof. Dr.-Ing. Berend **Denkena**,
Professor für Fertigungstechnik an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Produktionstechnisches Zentrum
- Prof. Dr.-Ing.habil. Monika **Sester**,
Professorin für Kartographie und Geoinformatik an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

Zum ordentlichen Mitglied in der Wahlsitzung vom **20.04.2007**:

- Prof. Dr.-Ing.habil. Dieter **Dinkler**,
Professor für Statik und Dynamik von Tragwerken, Numerische Mechanik an der Technischen Universität Braunschweig

Klasse für Geisteswissenschaften

Zum ordentlichen Mitglied in der Wahlsitzung vom **08.12.2006**:

- Prof. Dr.phil. Wolfgang **Adam**
Professor für Germanistik – Neuere Deutsche Literatur an der Universität Osnabrück

Zum ordentlichen Mitglied in der Wahlsitzung vom **20.04.2007**:

- Prof. Dr.phil. Thomas **Vogtherr**,
Professor für die Geschichte des Mittelalters, Universität Osnabrück

Damit gehörten der BWG am 30.04.2007 an: 141 ordentliche Mitglieder, davon 80 unter 70 Jahren, sowie 72 korrespondierende Mitglieder.

Veröffentlichungen Veranstaltungen in der Öffentlichkeit

Abhandlungen Bd. 57

Abhandlungen Bd. 58 (im Druck)

Da wir wiederum pünktlich für diesen Tag das Erscheinen unseres Jahrbuchs 2006 verkünden können, das alle wichtigen Ereignisse im Detail dokumentiert, kann ich mich in meinem mündlichen Bericht auf die Hervorhebung der wichtigsten Fakten beschränken und das Detail dem interessierten Leser überlassen.

Dies betrifft zum Beispiel Themen und Inhalt der wissenschaftlichen Vorträge in den Plenar- und Klassensitzungen unserer Gesellschaft.

Auch auf eine Reihe, z. T. wiederkehrender, öffentlicher Veranstaltungen mit bewährten Partnern in Stadt und Region lässt sich in dieser Art verweisen.

So möchte ich mich in meinem Bericht auf drei Veranstaltungen beschränken, die ich auch aufgrund ihrer überregionalen Bedeutung für wichtig erachte:

1. In einer Veranstaltungsreihe **Wissenschafts-Soirée 2006/2007** hat sich die BWG mit Wissenschafts- und Kultur-Einrichtungen in Wolfsburg als Auftakt-Veranstaltung zum Jahr ‚Stadt der Wissenschaft‘ engagiert.

Als Soirée kombinierte sie wissenschaftliche Vorträge und künstlerische Beiträge mit einem kulturellen Rahmenprogramm, um auf diese Weise die enge Struktur wissenschaftlicher Vortragsveranstaltungen aufzubrechen. Inhaltlich stand im Jahr der Informatik der Einsatz des Computers als Kulturtechnik, in der Medizin und im Verkehrswesen im Mittelpunkt. Veranstaltungsorte wie das Phaeno oder das Kunstmuseum führten zu einer zusätzlichen Attraktivität dieser gut besuchten Veranstaltungen mit dem Ziel, auch wissenschaftliche Themenstellungen in einer eher durch Wirtschaft geprägten Stadt stärker zu verankern.

2. Einer Einladung der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen folgend – für die ich Herrn Präsident Roesky hier auch noch einmal ausdrücklich danken möchte – hat sich die BWG gemeinsam mit der Göttinger Akademie an der **2. Akademie-Woche** im Rathaus im Zentrum der Stadt Göttingen beteiligt. Unter der Überschrift

„Informatik – von der digitalen Kommunikation zur Robotik“

fanden im September 2006 vier Vorträge statt mit dem Ziel, Einblicke in neue technische Entwicklungen zu geben, die bereits viele Bereiche unseres täglichen Lebens bestimmen oder in naher Zukunft völlig neue Möglichkei-

ten mittels intelligenter Maschinen eröffnen. Dieses wertvolle Kooperationsprojekt verknüpft die ingenieurwissenschaftlichen Stärken der Braunschweiger Institution mit den geistes- und naturwissenschaftlichen Stärken in Göttingen und soll auch in diesem Jahr – unter dem Motto „Licht und Energie“ – seine Fortsetzung finden.

3. Unter dem Titel

„Neue Perspektiven der Stammzell-Medizin“

setzte die BWG in Zusammenarbeit mit der Akademie für Ethik in der Medizin in Göttingen und dem Evangelischen Klosterforum in Braunschweig ihre Veranstaltungsreihe zu **Fragen der Ethik in der Biomedizin** mit einem Symposium fort. Wiederum gelang es uns, durch Gewinnung hervorragender Referenten aus den Bereichen Biologie, Medizin, Recht und Theologie einen Einblick in den aktuellen Diskussionsstand in Wissenschaft, Gesetzgebung und ethischen Diskurs in diesem Zukunftsfeld der Medizin zu geben.

Meine Damen und Herren,

als Begriffe, die diese drei ausgewählten Veranstaltungen konzeptionell verbinden, möchte ich zwei Stichworte nennen, und zwar

1. Interdisziplinarität und
2. Kooperation.

Interdisziplinäre Denk- und Vorgehensweise gehört heute schon zu den Selbstverständlichkeiten in der wissenschaftlichen Welt.

Dies ist nicht zuletzt eine der besonderen Stärken der Wissenschaftlichen Akademien. Aber keine dieser Institutionen ist allein so breit aufgestellt, dass sie behaupten könnte, das Themenspektrum komplett abzudecken. Dazu verhilft nur die Kooperation über Grenzen der Institutionen hinweg.

In diesem Sinne weiß die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft besonders die Kooperation mit den in der Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften zusammengeschlossenen Akademien zu schätzen, und ich darf Ihre Anwesenheit – lieber Herr Präsident Gottschalk – bei unserer heutigen Veranstaltung wohl auch dahin gehend werten, dass Sie diese Einschätzung teilen.

Mit der Göttinger Akademie verbindet uns nicht nur das genannte Projekt unter dem Motto „Ingenieur- und Geisteswissenschaften“, sondern auch die am 8. Juni in Braunschweig stattfindende Veranstaltung zur Präsentation der in Buchform erschienenen Dissertation von Norbert Kamp unter dem Titel „Moneta Regis – Beiträge zur Geschichte der königlichen Münzstätten und der königlichen Münzpolitik in der Stauferzeit“.

Dies ist dann auch – als Beitrag zum Stichwort Interdisziplinarität – die erste öffentliche Veranstaltung der in der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft neu etablierten interdisziplinären Kommission zum Thema

„Münzfunde und Geldgeschichte im Deutschland
des Mittelalters und der Neuzeit“.

Diese Veranstaltung schlägt darüber hinaus eine Brücke zur Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München, denn dieses Buch erscheint als Band 55 in der Schriftenreihe der Monumenta Germaniae Historica, die bei eben dieser Akademie beheimatet ist.

Und mit der Bayerischen Akademie der Wissenschaften verbindet uns in diesem Jahr in besonderer Weise das Projekt „Gauß in die Walhalla“. Nachdem die Bayerische Staatsregierung auf Vorschlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften grundsätzlich die Aufnahme des Sohnes der Stadt Braunschweig in die nationale Ruhmeshalle beschlossen hatte, war es einer Initiative der Braunschweiger ForschungRegion unter Federführung der BWG vorbehalten, für die Herstellung der Marmorbüste Sorge tragen zu dürfen. So entsteht zur Zeit im Braunschweiger Land unter den Händen eines Braunschweiger Künstlers, getragen vom finanziellen Engagement der Stiftung Braunschweiger Kulturbesitz und des Lionsclubs Braunschweig, das Kunstwerk, das am 12. September 2007 in die Walhalla einziehen wird.

Der Name Gauß – der auch den heutigen Tag durch Kolloquium und Medaille prägt – hat ja z. Zt. durchaus Konjunktur. Dazu zählt nicht nur der literarische Erfolg von Daniel Kehlmann mit seinem Roman „Die Vermessung der Welt“, sondern auch die Wahl des Namens Gauß zur Benennung wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Großprojekte:

- Gauß ist der Namenspatron für den in Deutschland entstehenden – und Europas leistungsstärksten – Rechnerverbund: Im Gauss Center for Supercomputing werden die Höchstleistungsrechner (der Bayerischen Akademie der Wissenschaften) in München, Stuttgart und Jülich zu neuer Stärke im internationalen Wettbewerb – Stichwort Kooperation – verknüpft.
- Gauss (Galileo Applications and Users in the Domain of Safety and Security) ist auch ein Projekt des Gesamtzentrums für Verkehr e. V. am Forschungsflughafen Braunschweig. Es ist dort – im Rahmen des europäischen Satellitenprogramms Galileo – als Zentrum für sicherheitskritische Anwendungen, Zertifizierungen und Dienstleistungen angesiedelt.

Mit den Stichworten Gauß und Supercomputing haben wir sofort auch die Brücke zu unseren heutigen Veranstaltungen geschlagen.

Unabhängig von aller Konjunktur vergibt die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft, möglichst zeitnah verknüpft mit dem 30. April – an dem im

Jahr 1777 der größte Sohn dieser Stadt das Licht der Welt erblickte – seit 1949 die Carl Friedrich Gauß-Medaille in Würdigung herausragender wissenschaftlicher Leistungen an Wissenschaftler aller Fachgebiete. Insoweit ist die Liste der Träger der Gauß-Medaille auch ein Abbild der Interdisziplinarität unserer Gesellschaft.

Dass der Computer Eingang in die wissenschaftliche Forschung gefunden und dieser Forschung absolut neue Impulse verliehen hat, ist ebenfalls nicht neu – neu sind allerdings die Dimensionen an Rechenleistung und bearbeitbarer Komplexität, für welche die Supercomputer vom Typ Gauss stehen.

Professor Dr. Herbert Mang, den wir heute mit der Verleihung der Gauß-Medaille ehren, ist einer der Pioniere, welche eben frühzeitig die Bedeutung und Eigenständigkeit der Rechnerwelt in der Welt der Mechanik erkannt und vorbildhaft zur Anwendung gebracht haben: Der Computer ermöglicht Vieles – auch Neues, aber er ist nicht allwissend. Das konzeptionelle und originelle schöpferische Denken bei der Formulierung der theoretischen Modelle auf der einen Seite und das Experiment auf der anderen Seite ergeben erst zusammen mit dem Rechner als Werkzeug eine zukunftsfähige Wissenschaft des Bauwesens und der Mechanik.

Herr Wriggers wird uns in seiner Laudatio aber das Lebenswerk des Preisträgers – der viele Jahre auch in seiner Eigenschaft als Präsident der Österreichischen Akademie der Wissenschaften Hervorragendes für die Organisation in der Wissenschaft geleistet hat – näherbringen.

Mir verbleibt an dieser Stelle der offizielle Dank unserer Gesellschaft, dass Sie unsere Ehrung angenommen und heute in Begleitung Ihrer verehrten Frau Gemahlin zum Empfang der Gauß-Medaille 2007 nach Braunschweig – in Deutschlands Stadt der Wissenschaft – gekommen sind.

Damit nun im Übergang zum wissenschaftlichen Teil unserer Veranstaltung die Musik – nicht zu Wort, sondern – zu Klang kommen kann, beschließe ich meinen Bericht, nicht ohne Ihnen dafür zu danken, dass Sie mir zugehört haben.

Laudatio
zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an
Prof. Dr. tech. Dr.h.c. mult Herbert Mang

PROF. DR. -ING. PETER WRIGGERS

Baumechanik und Numerische Mechanik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität
Herrenhäuser Straße 8, D- 30419 Hannover

Sehr geehrter Herr Kollege Mang,
sehr geehrte Frau Mang,
sehr geehrter Herr Oberbürgermeister,
sehr geehrter Herr Präsident Klein,
geehrte Präsidenten,
hochverehrte Festversammlung,

die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft verleiht einmal im Jahr die Gauß Medaille als ihre höchste Auszeichnung für herausragende wissenschaftliche Leistungen auf einem bestimmten Gebiet der Geistes- und Natur- und Ingenieurwissenschaften. In diesem Fall küren wir mit Professor Herbert Mang einen Bauingenieur als Preisträger.

Einige von Ihnen haben am heutigen Vormittag gesehen, dass es im Bauingenieurwesen der Gegenwart – auch wenn es öffentlich manchmal anders dargestellt wird – um hochkomplexe Fragestellungen geht, die nur mit numerischen Simulationsmethoden in der erforderlichen Tiefe behandelt werden können. Der hohe Stand der Ingenieurkunst und der numerischen Simulationsmethoden lässt vieles selbstverständlich erscheinen und viele denken sicher, dass der Umgang mit modernen Simulationstools – wie der Methode der finiten Elemente – genauso einfach ist wie z. B. das Schreiben eines Textes auf einem PC. Sie sind ein mächtiges und von jedem bedienbares Werkzeug, doch sind sie haben ihre Tücken in der Anwendung. Man braucht Wissenschaftler, die die entsprechenden mathematischen Modelle und deren Umsetzung in Software entwickeln. Aber man benötigt auch Ingenieure, die die Grenzen und Möglichkeiten dieser Werkzeuge verstehen, die mit diesen umzugehen wissen und sie auf reale Probleme anwenden können. Man denke nur daran, dass jedes Bauwerk ein Einzelstück ist. Als herausragende Beispiele seien hier die über die Straße von Medina geplante Brücke oder der 800m hohe Wolkenkratzer in Dubai genannt, die man nicht in einem „Trial and Error“ Verfahren errichten kann. Wie sagte schon Vitruvius: *„Baumeister, die unter Verzicht auf wissenschaftliche Bildung*

sich nur um handwerkliche Dinge bemühen, gelangten nicht zu der entsprechenden Meisterschaft. Andererseits scheinen diejenigen, die sich nur auf Berechnungen und ihre wissenschaftliche Ausbildung verließen, lediglich einem Schatten, nicht aber der Sache nachgejagt zu sein. Diejenigen aber, die sich beides gründlich angeeignet haben, gelangten schneller und erfolgreicher an ihr Ziel.“

Unser heutiger Preisträger vereint diese Anforderungen.

Herbert Mang wurde 1942 in Wien geboren. Nach der „Mit Auszeichnung“ bestandenen Reifeprüfung im Jahre 1960 studierte er bis 1967 Bauingenieurwesen an der TU Wien. Kurz darauf, im Jahre 1970 promovierte er an der TU Wien „Mit Auszeichnung“. In einer für einen Ingenieur sehr kurzen Zeitspanne.

Darauf hin ging er mit einem Fulbright Stipendium von 1971 bis 1973 in die USA, wo er an der Texas Technological University im Jahre 1974 den PhD erhielt, also einen zweiten Abschluss erlangte.

In die Zeit der Habilitation fällt sein zweiter USA Aufenthalt als Max-Kade Fellow an der Cornell University. Hier kooperierte er von 1975 bis 1976 mit Prof. R.H. Gallagher – einem der Pioniere der Methode der finiten Elemente. Für seine Habilitationsschrift zur „Festigkeitslehre mit besonderer Berücksichtigung der Methode der Finiten Elemente“; die sicher von diesem Kontakt profitierte, wurde er dann 1977 mit dem Kardinal Innitzer-Förderungspreis ausgezeichnet.

Die Ernennung zum Außerordentlichen Universitätsprofessor erfolgte 1979 für das Fachgebiet: „Festigkeitslehre mit besonderer Berücksichtigung der Methode der Finiten Elemente“. Bis zu seinem ersten, jedoch von ihm abgelehnten Ruf in 1981 zum ordentlichen Professor für das Fachgebiet „Festigkeitslehre“ nahm Prof. Mang noch zwei dreimonatige Auslandsaufenthalte als: Visiting Associate Professor an der University of Tokyo, Japan; und als UNIDO-Fachexperte am Zhengzhou Research Institute for Mechanical Engineering, Zhengzhou in der Volksrepublik China.

Im Jahre 1982 erhielt Prof. Mang den Ruf für das Fachgebiet: Elastizitäts- und Festigkeitslehre an der TU-Wien in der Fakultät für Bauingenieurwesen. Von 1985-2004 war er Institutsvorstand des Instituts für Festigkeitslehre an der TU-Wien. Diesem Institut gehört er bis heute an.

Seine Arbeitsgebiete umfassen die Grundlagenforschung und Angewandte Forschung auf den Gebieten der Festigkeitslehre, der Berechnung von Flächentragwerken, der Numerischen Mechanik mit statischen und dynamischen Spannungsanalysen sowie der Numerischen Akustik. Früh schon hat er sich mit Stabilitätsuntersuchungen und Traglastermittlungen von Stahlbetonkonstruktionen beschäftigt und durch seine Arbeiten zum Versagen von Naturzug-

kühltürmen zum tiefen Verständnis der Schadensmechanismen beigetragen, die nicht nur – wie man damals dachte – durch Stabilitätsversagen kollabierten, sondern infolge einer Kombination von Material- und Stabilitätsversagen. Dieses gelang nur durch die Entwicklung innovativer numerischer Simulationstools auf der Basis von neuen theoretischen Beschreibungen, die dann auf das praktische Problem angewendet wurden. Hierzu ein Zitat von Coulomb aus dem 18. Jahrhundert, der seinem wegweisenden Buch zur Baustatik den Satz voranstellt: *„Ich habe versucht, soweit es mir möglich war, die Prinzipien zu ordnen, derer ich mich ebenso klar bedient habe, damit ein einigermaßen instruierter Fachmann sie verstehen und sich ihrer bedienen kann.“* Diese Grundsätze finden sich auch in den Arbeiten von Herbert Mang wieder, der immer versucht im Spannungsfeld von wissenschaftlicher Neuentwicklung und anwendungsorientierter Forschung Modelle zu finden, die dem praktischen Ingenieur dabei helfen sichere Tragwerke zu konstruieren.

Um Herbert Mang darüber hinaus zu charakterisieren, zitiere ich noch einmal Virtuvius, der den Baumeister wie folgt definiert: *„Er muss im schriftlichen Ausdruck gewandt sein (hier empfehle ich jedem die Lektüre des Buches „dicta et scripta“ von Kollegen Mang), des Zeichenstiftes kundig (keiner hatte so akurate aber auch so bunte Folien wie er), in der Geometrie ausgebildet (davon sprachen wir schon), mancherlei geschichtliche Ereignisse kennen (auch hier ist Prof. Mang sattelfest), fleißig Philosophen gehört haben, etwas von Musik verstehen (ich erinnere mich hier an die Gesangsrunden auf den Swansea Tagungen der 80iger Jahre), nicht unbewandert in der Heilkunde sein, juristische Entscheidungen kennen, Kenntnisse in der Sternkunde und vom gesetzmäßigen Ablauf der Himmelserscheinungen besitzen.“* Nun einiges ist in der heutigen Zeit sicher nicht mehr notwendig von einem Baumeister beherrscht zu werden, aber die wesentlichen Randbedingungen erfüllt Herbert Mang in hervorragenden Maße.

Bauingenieure sollten auch Brückenbauer sein. Nun ist es so, dass in Österreich die Berge hoch sind und man sich daher häufig nicht nur auf den Bau von Brücken sondern auch auf den Bau von Tunneln verlegt, wenn man zwei Punkte verkehrstechnisch verbinden möchte. So ist es naheliegend, dass ein Ordinarius für Festigkeitslehre sich auch in diesem Bereich einbringt. Professor Mang hat sich mit der Weiterentwicklung der „neuen Österreichischen Tunnelbauweise“ forschend beschäftigt, bei der er wieder durch grundlegende aber dennoch praxisrelevante Arbeiten den Bogen von der Statik und Festigkeitslehre hin zu den realen baupraktischen Anwendung hin schlagen konnte.

Seine vielseitige Forschungstätigkeit hat sich in über 400 wissenschaftlichen Publikationen in Form von Büchern und wissenschaftlichen Veröffentlichungen niedergeschlagen. Seine Arbeiten hat er weltweit als „Invited Lecturer“, „Keynote Lecturer“ und „Plenary Lecturer“ auf Kongressen, Konferenzen und

Symposien vorgetragen und ist aus meiner Sicht, der international bekannteste Ingenieur Österreichs auf dem umfangreichen Gebiet der Computational Mechanics. Die Aufnahme in 38 Editorial Boards von nationalen und internationalen Journalen ebenso wie die Verleihung von bis jetzt vier Ehrendoktoraten unterstreichen dies in eindeutiger Weise.

Aber Professor Mang hat aber auch Brücken gebaut. Diese waren Brücken, die er seinen jungen Leuten baute, die dank seiner Vermittlung als österreichische Nachwuchswissenschaftler auf Post-doc Stellen an renommierten amerikanischen Universitäten weitere Erfahrungen sammeln konnten. Ich denke sein eigener Lebensweg zeigte ihm die Wichtigkeit, bei dem Aufbau einer eigenen Karriere auch andere wissenschaftliche Umfelder kennenzulernen. Seinem Buch „dicta et scripta“ ist zu entnehmen: *„wissenschaftliche Exzellenz ist ohne Begabtenförderung undenkbar“*. Sie, Herr Kollege Mang, haben dies in Ihrer Forschungsgruppe vorgelebt. Diese Brücken führten dann häufig zurück nach Österreich oder auch Deutschland, wo seine Schüler auf ordentliche Professuren berufen wurden und so die Schule von Kollegen Mang begründeten.

Um eine weitere Seite von Kollegen Mang zu beleuchten, möchte ich als Mechaniker auf das zweite Axiom von Newton verweisen: *„Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt“*. Kollege Mang hat die Kraft des wissenschaftlichen Disputes erkannt und sich gerade als Hochschullehrer aus dem doch recht kleinen Österreich dieser Einwirkung nicht entzogen, sondern ist dieser gradlinig im gesamten europäischen Raum gefolgt. Dies schließt seinen steten Einsatz für die wissenschaftliche Zusammenarbeit mit deutschen Kollegen im Rahmen der Fachausschüsse der GAMM unserer Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik ein. Während deutsche Kollegen eventuell noch darüber nachdachten, ob sie sich die Zeit nehmen konnten, um einen 200km entfernten Seminarort aufzusuchen, saß Prof. Mang schon im Nachtzug und kam selbst für eintägige Seminare aus Wien zu jedem Orte Deutschlands angereist. Dieser Einsatz ist einzigartig. Ähnliches gilt auch für die von ihm unermüdlich betriebene Integration osteuropäischer Kollegen. Hier hat er sowohl materiell, z.B. durch Büchersendungen, als auch ideell, durch die Integration ihrer Vereinigungen in das gesamteuropäische Umfeld, geholfen.

So war es wohl auch nur eine Frage der Zeit, dass man an Professor Mang Positionen in nationalen und internationalen Wissenschaftsorganisationen herangetragen hat. Er war von 1991-1994 Dekan der Fakultät für Bauingenieurwesen an der TU-Wien, von 1992-1995 agierte er als Vorsitzender der Central European Association for Computational Mechanics, von 1994-1995 als Prorektor an der TU-Wien, Kollege Mang ist seit 1998 Vizepräsident der International Association for Computational Mechanics (IACM) und seit 2005 Präsident der

European Commission for Computational Methods in Applied Sciences (ECCOMAS). Von 1995-2003 engagierte er sich als Generalsekretär der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, der er als Präsident dann von 2003-2006 als erster Ingenieur vorstand. Hier möchte ich einmal Wilhelm von Humboldt zitieren, um anzudeuten, welche schwierige Aufgaben sicher auf Prof. Mang in diesem Amt zukamen, da ja die Akademie in Österreich in die Vergabe von Forschungsmitteln direkt eingebunden ist. Ich zitiere: *„Wie die Gelehrten – die unbändigste und am schwersten zu befriedigende Menschenklasse – mit ihren sich ewig durchkreuzenden Interessen, ihrer Eifersucht, ihrem Neid, ihrer Lust zu regieren, ihren einseitigen Ansichten, wo jeder meint, dass nur sein Fach Unterstützung und Beförderung verdiene, mich umlagern, davon hast du, teures Kind, keinen Begriff.“* Prof. Mang hat an der Spitze der Akademie viele neue Projekte, wie z.B. Institut für Quantenoptik und Quanteninformatik in Innsbruck oder die Forschungsstelle für Integrierte Sensorsysteme in Wien verwirklicht, er musste sicher aber auch vielen eine Absage geben.

Damit wir auch in Zukunft das wissenschaftliche Niveau halten können, welches durch die Vergabe der Gauß-Medaille an Prof. Mang dokumentiert wird, brauchen wir gute Rahmenbedingungen für die Forschung. Trotz allem kaufmännischen Denken in finanzschwachen Jahren und den Versuch die Hochschulen wieder und wieder moderner umzugestalten, sollte nicht vergessen werden, dass Neugier, Kreativität, individuelle Initiative und das objektive Streben nach Wahrheit Antriebsfeder des wissenschaftlichen Erfolges sind und nicht die Gremienarbeit oder die Akkreditierung neuer Studiengänge. Die dazu gehörenden Freiräume sollte man schützen wie einen Naturpark. Dazu noch ein Zitat Albert Einsteins: *„Die Universität ist in Wahrheit überhaupt eine Maschine von schlechtem Nutzeffekt und doch unersetzlich und wohl auch nicht wesentlich verbesserungsfähig Für ein Weniges muss der ganze Aufwand gemacht werden, und er lohnt sich“* .

Sie, Herr Kollege Mang, haben mit ihren Arbeiten und ihrem Einsatz dazu beigetragen, dass es sich lohnt. Die Klasse der Ingenieurwissenschaften empfindet, dass die Verleihung der Gaußmedaille an Prof. Mang einen Wissenschaftler ehrt, der sowohl in seiner Fachdisziplin zur internationalen Spitze gehört als auch ein würdiger Repräsentant der Ingenieure im allgemeinen gesellschaftspolitischen Umfeld ist.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

In Computational Mechanics sollt' nie zum Augenblick man sagen: Verweile doch! du bist so schön!*

HERBERT A. MANG

Technische Universität Wien
Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen
Karlsplatz 13/202, A-1040 Wien

Sehr geehrter Herr Oberbürgermeister,
sehr geehrter Herr Präsident,
sehr geehrter Herr Vorsitzender der Klasse der Ingenieurwissenschaften,
meine sehr geehrten Damen und Herren!

1. Einleitung

„Werd' ich zum Augenblicke sagen: Verweile doch! du bist so schön!“ „Dann“, so Faust weiters zu Mephistopheles bei der Besiegelung des Pakts mit ihm (Abb. 1), „bist du deines Dienstes frei, Die Uhr mag stehn, der Zeiger fallen, Es sei die Zeit für mich vorbei!“ Zum Verweilen lädt der Momentanzustand in der Rechnerunterstützten Numerischen Mechanik – auch in deutschsprachigen Fachkreisen mit Computational Mechanics bezeichnet – angesichts der diesem Wissensgebiet innewohnenden großen Dynamik wahrlich nicht ein, wohl aber zu fortgesetzt strebendem Bemüh'n, das, wie Johann Wolfgang von Goethe im zweiten Teil der Fausttragödie die Engel sagen lässt, Erlösung verheißt.

Der Titel des Vortrags und der Namensgeber der mir verliehenen Medaille lassen einen Kurzkommentar zum Verhältnis des Dichterfürsten Goethe zum *Princeps mathematicorum* Gauß angezeigt erscheinen.

Die beiden sind einander nie begegnet. Man mutmaßt, dass Gauß an einer solchen Begegnung deshalb nicht interessiert war, weil er Goethes Farbenlehre mangels ausreichender naturwissenschaftlicher Fundierung ablehnte, einem Disput mit Goethe jedoch aus dem Weg gehen wollte. Das mag Goethe dazu veranlasst haben, in seiner Bühnenbearbeitung von Kotzebues Lustspiel „Die

* Der Vortrag wurde anlässlich der Verleihung der Gauß-Medaille durch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft am 04. Mai 2007 gehalten.



Abb. 1: Faust: Der Tragödie erster Teil, Studierzimmer (2); Besiegelung des Pakts mit Mephistoteles.

Bestohlenen“ im Ausspruch „Mögt Ihr gelehrt sein wie ein Leibniz oder Gauß“, den Namen Gauß durchzustreichen und durch Kant zu ersetzen (Abb. 2).

Bleiben wir bei Gauß! 1842 schrieb der deutsche Astronom Heinrich Christian Schumacher im Zusammenhang mit einer möglichen Berufung von Gauß an die Universität Wien an ihn:

„Allgemein hörte ich, daß die schon oft unter Discussion gewesene Idee, eine Gesellschaft der Wissenschaften zu errichten, jetzt wieder ernstlich berathen wird. Wenn man Sie jetzt wirklich nach Wien zu ziehen sucht, so glaube ich, daß man Sie zur Errichtung und Präsidentur dieser Gesellschaft wünscht.“

Nach nahezu 150jähriger wechselhafter Vorgeschichte wurde diese Gesellschaft 1847 in Form der „Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien“ tatsächlich gegründet (Abb. 3).

In der Einladung zur Feierlichen Eröffnungssitzung am 2. Februar 1848 findet sich der Hinweis auf die „Gegenwart des allerhöchsten Hofes“ (Abb. 4), darunter Erzherzog Franz, der, auf den Tag genau zehn Monate später, nach der Abdankung seines Onkels Ferdinand I., als Kaiser Franz Josef I. den Thron bestieg.

Dichterfürst**Princeps mathematicorum**

J.W. v. Goethe
(1749 – 1832)



C.F. Gauß
(1777 – 1855)

Kant
 „Mögt Ihr gelehrt sein wie ein Leibniz oder ~~Gauß~~“
 (in Goethes Bühnenbearbeitung von Kotzebues Lustspiel
 „Die Bestohlenen“)

Abb. 2: Goethe und Gauß.



Tranquillo Mollo, Gebäude der Alten Universität vom Bogen
 Bäckerstraße aus um 1825, Radierung koloriert, Privatbesitz

Abb. 3: Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien.



Abb. 4: Einladung zur Feierlichen Eröffnungs-Sitzung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien im Jahre 1848.

In der erwähnten Sitzung wurde die Wahl von Carl Friedrich Gauß zum Ehrenmitglied der neu gegründeten Akademie verkündet.

In seinem Dankbrief vom 31. März 1848 geht Gauß unter anderem auch auf die Märzrevolution in diesem Jahr ein. „Es ist nicht möglich“, schreibt er, „in Gedanken die Epoche, wo die neue Akademie eröffnet ist, von der welthistorischen Aera zu trennen, die fast unmittelbar darauf für den Kaiserstaat wie für ganz Deutschland in den inneren wie in den äußeren Verhältnissen begonnen hat“ (Abb. 5).

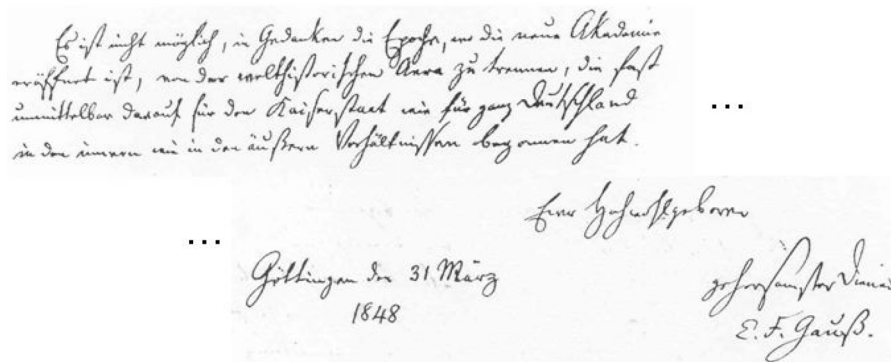


Abb. 5: Dankbrief von Gauß nach seiner Wahl zum Ehrenmitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien.

Gauß hat bedeutende Grundsteine zum Wissensgebäude von Computational Mechanics gesetzt. Worum, meine sehr geehrten Damen und Herren, geht es bei diesem Wissensgebiet eigentlich? Beginnen wir mit einer Definition des Begriffes „Mechanik“. Laut Meyers Enzyklopädischem Lexikon ist die Mechanik ein grundlegendes Teilgebiet der Physik, das sich mit der Bewegung von Körpern befasst, die unter dem Einfluss äußerer Kräfte oder gegenseitiger Wechselwirkungskräfte stehen. Der Sonderfall der Ruhe ist darin eingeschlossen. Er umfasst u.a. das für die Ingenieurwissenschaften wichtige Teilgebiet der Statik. Die Mechanik baut ihr Lehrgebäude mit Hilfe der Mathematik auf Erfahrungssätzen – Naturgesetzen – auf, die axiomatischen Charakter aufweisen. Das Adjektiv „computational“ bezieht sich auf Rechengvorgänge, die nach bestimmten, sich wiederholenden Schemata ablaufen, also auf Algorithmen. Der große Bedeutungszuwachs von Algorithmen in der jüngeren und jüngsten Geschichte der Mechanik ist eine Folge des sehr stark gestiegenen und ständig weiter steigenden Einsatzes von Rechenautomaten.

Wenn das Hauptwort „mechanics“ die Grundlagenorientierung ausdrückt und das Eigenschaftswort „computational“ die Methodik charakterisiert, dann stellt Computational Mechanics angesichts von Anwendungsgebieten wie Bauwesen, Maschinenbau, Bio- und Medizintechnik und Geotechnik eine grundlagenorientierte Ingenieurwissenschaft mit starkem methodischem Bezug dar.

Den Schwerpunkt meines Vortrags bildet die rechnerische Quantifizierung von Material- und/oder Strukturversagen im Bauwesen. Das entspricht der neuen Bezeichnung meiner Wirkungsstätte an der Technischen Universität Wien mit Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen (Abb. 6).



Institut für **inws**
Mechanik der
Werkstoffe und Strukturen

Technische Universität Wien
 Hauptgebäude
 (errichtet 1812-1815)

Bezeichnung des ehemaligen
 Institutes für Festigkeitslehre
 ab 1.10.2004

Abb. 6: Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen der Technischen Universität Wien.

Der neue Name des alten Instituts für Festigkeitslehre trägt dem Paradigmenwechsel in einem traditionellen Fach der Ausbildung zu Ingenieuren des Bauwesens und des Maschinenbaus Rechnung.

2. Wegbereiter von Computational Mechanics

Aus der großen Anzahl indirekter und direkter Wegbereiter der Rechnerunterstützten Numerischen Mechanik können hier nur einige wenige namentlich angeführt werden (Abb. 7).

Beginnen möchte ich mit Gottfried Wilhelm Leibniz, einem Begründer der Infinitesimalrechnung, der in der Mathematik überdies das Dualsystem einführte, das über die Darstellung von Zahlen auf Elektronenrechnern hinaus für die gesamte Informationstheorie bis hin zur digitalen Informationsübertragung fundamentale Bedeutung erlangte.

Carl Friedrich Gauß wurde bereits Reverenz erwiesen. Indirekter Wegbereiter von Computational Mechanics ist er unter anderem wegen seiner fundamentalen Beiträge zur numerischen Integration und zur Lösung linearer Gleichungssysteme.

Karl Zuse entwickelte bereits als Bauingenieurstudent an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg ab 1934 die Grundkonzeption für eine programmgesteuerte Rechenmaschine und begann 1936 mit dem Bau von Versuchsmodellen. 1941 vollendete er mit der Z3 in Relais-technik das erste programmgesteuerte Rechenggerät der Welt.



G.W. Leibniz

(1646-1716)
Begründer der
Infinitesimalrechnung
und des
Binärzahlensystems



C.F. Gauß

(1777-1855)
wesentliche Beiträge
u.a. zur numerischen
Integration und zur
Lösung linearer
Gleichungssysteme



K. Zuse

(1910-1995)
Pionier von
Entwicklung und Bau
programmgesteuerter
Rechenmaschinen



R.W. Clough

(* 1920)
Pionier der Finite-
Elemente-Methode

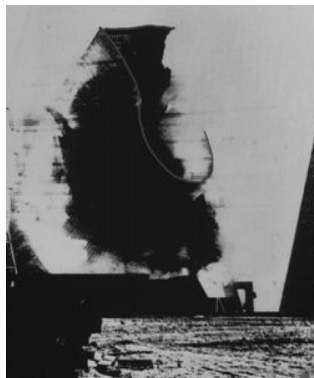
Abb. 7: Wegbereiter der Rechnerunterstützten Numerischen Mechanik.

Mit Ray W. Clough sei schließlich ein noch lebender amerikanischer Pionier der Finite-Elemente-Methode genannt, eines Verfahrens, das die Rechnerunterstützte Numerische Mechanik beherrscht und auf das ich noch zu sprechen kommen werde. Als Professor an der University of California at Berkeley veröffentlichte er zusammen mit drei weiteren Autoren vor etwas mehr als einem halben Jahrhundert einen grundlegenden Aufsatz über diese Methode, ohne sie zunächst so zu bezeichnen.

3. Beispiele von Material- und/oder Strukturversagen

Wenn ich als mögliche Einsatzgebiete dieser Methode im Folgenden einige Beispiele von Material- und/oder Strukturversagen präsentiere, so möge dies nicht zum Anlass für ungerechtfertigte, das Bauwesen diskriminierende Generalisierungen genommen werden. Insbesondere möge nicht der falsche Eindruck von generell unzureichender Tragsicherheit bzw. mangelnder Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken entstehen. Um jedoch vorhersehbare Schadensfälle zu verhindern bzw. die Folgen unvorhersehbarer Katastrophen möglichst klein zu halten, muss sich die wissenschaftliche Forschung mit Schadensfällen auseinandersetzen.

Das erste Beispiel betrifft den Baustoff Stahlbeton und bezieht sich auf den Einsturz dreier je 114 m hoher, aus diesem Baumaterial hergestellter Kühltürme in England im Jahre 1956 während eines orkanartigen Sturms. Die linke Abbildung zeigt den Einsturz eines der drei Kühltürme, während die rechte die Situation nach dem Einsturz der Kühltürme illustriert (Abb. 8).



Einsturz des Kühlturms 2A
in Ferrybridge, England



Kühltürme in Ferrybridge, England,
nach dem Einsturz

Abb. 8: Stahlbeton – Einsturz von Kühltürmen.



Abb. 9: Stahl – Einsturz einer Behelfsbrücke in Bosnien infolge Ausknickens des Obergurts.

Das zweite Beispiel betrifft den Baustoff Stahl und hat den Einsturz einer aus diesem Material bestehenden Behelfsbrücke in Bosnien durch Ausknicken des Obergurts zum Gegenstand. Ursache dieses Einsturzes war die Überlastung durch ein Schwerfahrzeug, für das die provisorische Brücke offensichtlich nicht dimensioniert war (Abb. 9).

Das dritte Beispiel bezieht sich auf den Baustoff Holz. Es betrifft den Einsturz einer aus diesem Baumaterial errichteten Eissporthalle in Bad Reichenhall Anfang Jänner 2006. Ausgelöst wurde er durch eine zwar außergewöhnlich große Schneebelastung, die jedoch kleiner als die der statischen Berechnung zugrunde gelegte Schneelast war. Einer der Einsturzgründe war die durch Feuchtigkeit in der Eissporthalle verursachte erhebliche Schädigung der mit einem Klebstoff aus Harnstoff-Formaldehyd geklebten Verbindungen der Dachkonstruktion (Abb. 10).

Das vierte Beispiel betrifft den Baustoff Asphalt und handelt von Schäden an Straßen zufolge kombinierter Beanspruchung aus Temperatur und Verkehr. Sie bewirken eine Reduktion der Verkehrssicherheit. Ihre Sanierung sowie allfällige damit verbundene Straßensperren verursachen hohe Kosten (Abb. 11).

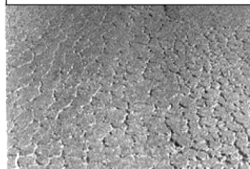


Abb. 10: Holz – Kollaps der Eissporthalle in Bad Reichenhall ausgelöst durch außergewöhnlich große Schneebelastung.

Asphalt – Schäden an Straßen
zufolge kombinierter Beanspruchung aus
Temperatur und Verkehr

- ➡ Reduktion der Verkehrssicherheit
- ➡ Kosten durch Sanierung und Sperre

Ermüdung ($T < 40^{\circ}\text{C}$)



Tieftemperaturreißen ($T < -10^{\circ}\text{C}$)



Spurrinnenbildung ($T > 40^{\circ}\text{C}$)



Abb. 11: Asphalt – Schäden an Straßen zufolge kombinierter Beanspruchung aus Temperatur und Verkehr.

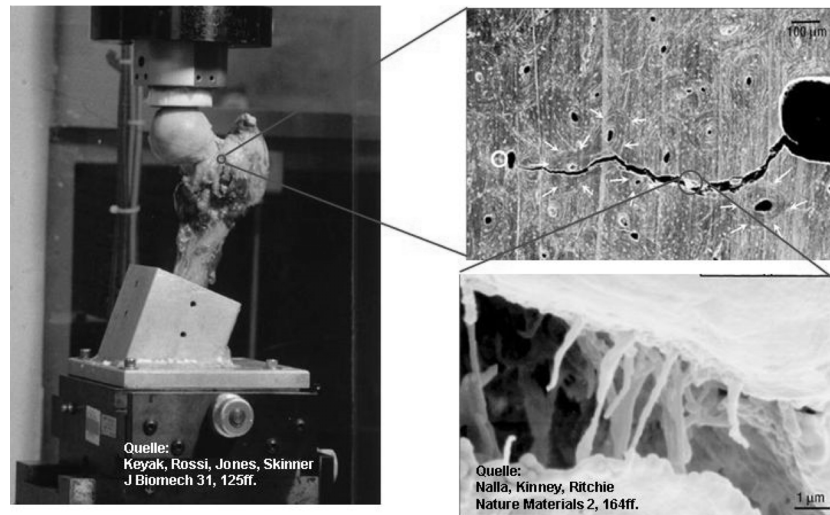


Abb. 12: Biologische Materialien – Knochenbruch.

Das letzte Beispiel wurde aus dem weiten Bereich biologischer Materialien ausgewählt. Es betrifft den Bruch eines menschlichen Knochens. Experimentelle und numerische biomechanische Forschung erfolgt sowohl auf dem Niveau ganzer Knochen – ein solcher ist im linken Bild zu sehen – als auch auf der Ebene der Rissfortpflanzung, worauf sich die beiden rechten Bilder beziehen. Das untere Bild zeigt Kollagenmoleküle, die den Bruchfortschritt durch Brückenbildung über den Riss hinweg zu bremsen scheinen, wodurch die Zähigkeit des Materials erhöht würde (Abb. 12).

4. Grundlagen der Finite-Elemente Methode

Zur rechnerischen Analyse solcher Schadensfälle wird in erster Linie die Finite-Elemente Methode herangezogen. Worum handelt es sich bei diesem numerischen Verfahren, dessen weltweiter Siegeszug parallel zu dem des Digitalcomputers erfolgte, eigentlich? Das will ich im Folgenden in gebotener Kürze am Beispiel der Anwendung dieser Methode auf eine Scheibe erläutern (Abb. 13).

Unter einer Scheibe versteht man ein ebenes Flächentragwerk – siehe das Teilbild links oben – dessen Mittelebene bei der Verzerrung infolge mechanischer und thermischer Beanspruchung eben bleibt. Wollte man den Verschiebungs-, Verzerrungs- und Spannungszustand der am äußeren Rand gestützten und belasteten Scheibe analytisch ermitteln, dann müsste man sie sich aus infinitesima-

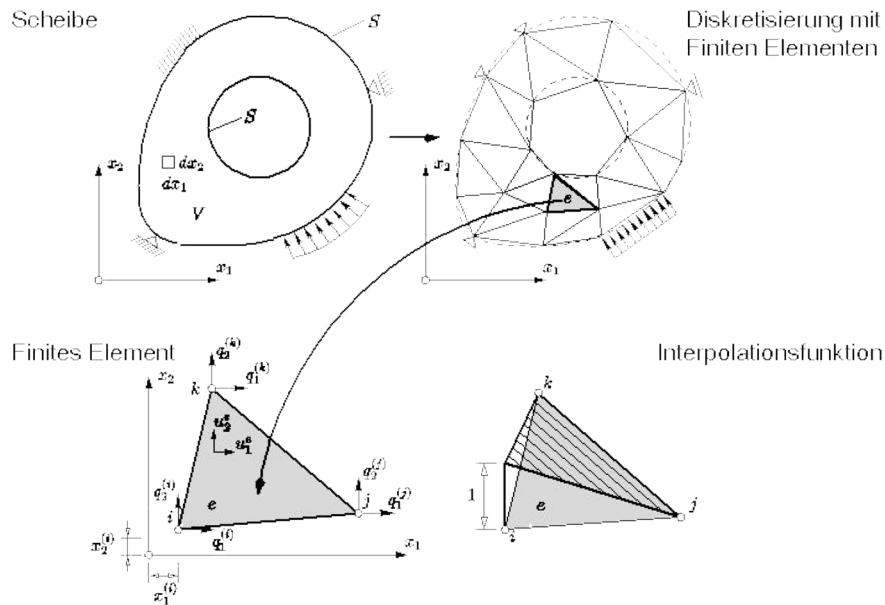


Abb. 13: Grundlagen der Finite-Elemente Methode am Beispiel einer Scheibe (1).

len Elementen – das Teilbild enthält ein solches – zusammengesetzt denken. Das sich ergebende Rand- und Anfangswertproblem wäre allerdings einer analytischen Lösung kaum zugänglich. Begnügt man sich hingegen mit einer numerischen Näherungslösung dieses Problems, dann braucht man sich die Scheibe nur aus finiten – endlichen – Elementen zusammengesetzt zu denken, wie es im Teilbild rechts oben dargestellt ist. Das Teilbild links unten zeigt ein solches Element. Freilich muss jetzt zwischen den gesuchten Knotenpunktverschiebungen des Elements – den lokalen Freiheitsgraden – interpoliert werden. Das Teilbild rechts unten enthält eine typische Interpolationsfunktion. Mit wachsender Anzahl der finiten Elemente nimmt die Genauigkeit der Ergebnisse im Allgemeinen zu.

Beim gedanklichen Übergang von infinitesimalen zu finiten Elementen wird ein System mit unendlich vielen Freiheitsgraden in eines mit einer endlichen Anzahl von Freiheitsgraden übergeführt. Dieser gedankliche Prozess wird Diskretisierung genannt. Die Schwingungsgleichung für eine diskretisierte Scheibe mit n Freiheitsgraden hat, wie die Abbildung zeigt (Abb. 14), dieselbe Bauart wie die für ein System mit bloß einem Freiheitsgrad, gekennzeichnet durch die Masse m , die Dämpfung c und die Federsteifigkeit k . Der Verschiebung q des Einmassenschwingers infolge der Erregerkraft P zum Zeitpunkt t

Vergleich: erregte, gedämpfte Schwingungen eines Systems mit

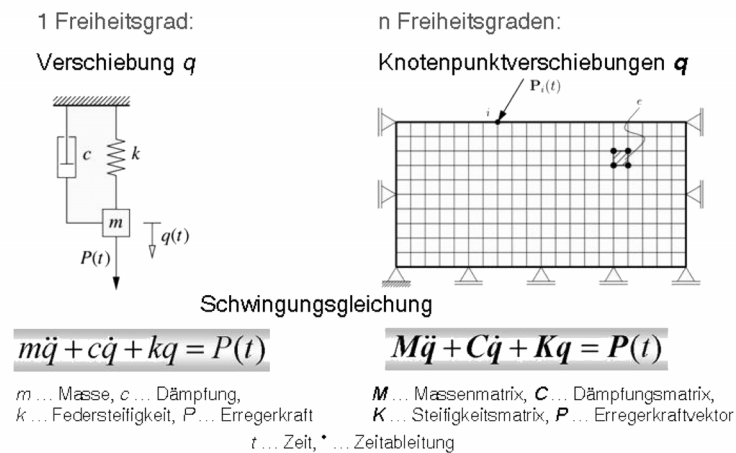


Abb. 14: Grundlagen der Finite-Elemente Methode am Beispiel einer Scheibe (2).

entspricht der Vektor \mathbf{q} der Knotenpunktverschiebungen der diskretisierten Scheibe. Den Größen m , c , k und P beim Einmassenschwinger entsprechen die Massenmatrix \mathbf{M} , die Dämpfungsmatrix \mathbf{C} , die Steifigkeitsmatrix \mathbf{K} und der Erregerkraftvektor \mathbf{P} bei der Scheibe. Die drei Matrizen haben jeweils n Zeilen und Spalten. Dementsprechend weist der Vektor \mathbf{P} n Zeilen auf. Dasselbe gilt für die Vektoren \mathbf{q} , $\dot{\mathbf{q}}$ und $\ddot{\mathbf{q}}$, wobei Punkte Ableitungen nach der Zeit symbolisieren.

Die erwähnten Matrizen und Vektoren sind strukturbezogen, also global. Sie werden in geeigneter Weise aus elementsbezogenen – lokalen – Matrizen zusammengesetzt. Davon ausgenommen ist die Dämpfungsmatrix, die zumeist als Linearkombination von \mathbf{M} und \mathbf{K} angesetzt wird.

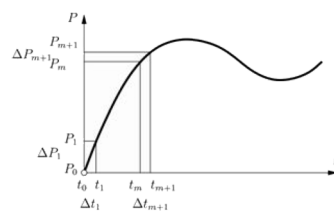
Stillschweigend habe ich mich bis jetzt auf lineare Probleme beschränkt. Wenn aber etwa die Federsteifigkeit k nicht wie beim abgebildeten Einmassenschwinger konstant ist, sondern von der Verschiebung q abhängt, dann liegt ein nichtlineares Problem vor.

Ein solches Problem muss inkrementell-iterativ gelöst werden. Das linke Diagramm (Abb. 15) zeigt ein nichtlineares Last-Zeitdiagramm – die so genannte Belastungsgeschichte – und das darin eingetragene erste und m -te Belastungs- und Zeitinkrement. Das rechte Diagramm bezieht sich auf die mittels des Newton'schen Verfahrens erfolgende iterative Bestimmung des Verschiebungsinkrements Δq_{m+1} für ein System mit einem Freiheitsgrad.

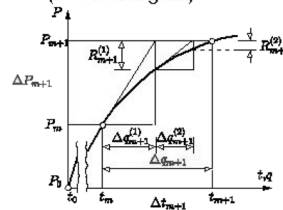
Erweiterung auf nichtlineare Probleme: $k = k(q)$

Lösung: inkrementell – iterativ

Belastungsgeschichte



Newton'sches Verfahren zur iterativen Bestimmung von Δq_{m+1} (1 Freiheitsgrad)



$$n \text{ Freiheitsgrade} \quad \mathbf{K}_T(\mathbf{q}_{m+1}^{(r)}) \Delta \mathbf{q}_{m+1}^{(r+1)} = \mathbf{R}_{m+1}^{(r)} \quad \begin{array}{l} m = 0, 1, 2, \dots \text{ Inkrement,} \\ r = 0, 1, 2, \dots \text{ Iterationsschritt} \end{array}$$

\mathbf{K}_T ... Tangentensteifigkeitsmatrix
 \mathbf{R} ... Residualer Kraftvektor („Ungleichgewicht“)
 $\Delta \mathbf{q}$... Inkrement der Knotenpunktverschiebungen

Abb. 15: Grundlagen der Finite-Elemente Methode: Erweiterung auf nichtlineare Probleme.

Für ein System mit n Freiheitsgraden erhält man für den Iterationsschritt $r+1$ im Inkrement $m+1$ bei Beschränkung auf statische Beanspruchung ein System linearer algebraischer Gleichungen, in dem \mathbf{K}_T die vom Verschiebungszustand vor diesem Iterationsschritt abhängige Tangentensteifigkeitsmatrix, \mathbf{R} den davor verbliebenen residualen Kraftvektor, der das Ungleichgewicht der inneren und äußeren Kräfte repräsentiert, und $\Delta \mathbf{q}$ das gesuchte Inkrement der Knotenpunktverschiebungen bezeichnet. Die Iteration wird beendet, wenn eine geeignet gewählte Fehlertoleranz unterschritten wird.

Die eingangs angesprochene Dynamik des Fachgebietes Computational Mechanics, die ein Verweilen in einem bestimmten Momentanzustand nicht ratsam erscheinen lässt, manifestiert sich in zwei bedeutenden, irreversiblen Entwicklungstendenzen. In der Fachwelt spricht man von Multi-Scale Formulierungen bzw. Multi-Physics Methoden.

5. Multi-Scale Formulierungen und Multi-Physics Methoden

Worum geht es bei Mehrskalenformulierungen? Ungeachtet ihres makroskopisch homogenen Erscheinungsbildes weisen viele Materialien eine inhomogene Mikrostruktur auf. Sie enthalten verschiedene Bestandteile, die sich auf einer hinreichend kleinen Längenskala unterscheiden lassen. Um den Einfluss der Mikrostruktur auf das makroskopische Verhalten solcher Mate-

Grundprinzip: Homogenisierungsverfahren

Abschätzung makroskopischer („homogenisierter“) Materialkennwerte auf Basis der Eigenschaften mikrostruktureller Bestandteile sowie deren geometrischer Anordnung

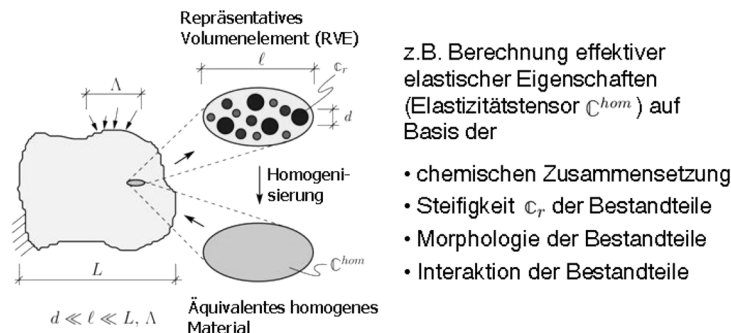


Abb. 16: Multi-Scale Formulierungen.

rialien beurteilen zu können, muss man Homogenisierungsverfahren verwenden (Abb. 16).

Bei solchen Verfahren werden effektive Materialeigenschaften, wie z.B. Festigkeit, Steifigkeit, Wärmeausdehnung, Wärmeleitfähigkeit, bestimmte weitere Transporteigenschaften, elektromagnetische Charakteristika, usw., aus entsprechenden Eigenschaften der einzelnen Bestandteile und aus deren geometrischer Anordnung abgeleitet. Voraussetzung für die Anwendung solcher Verfahren ist die Definierbarkeit eines repräsentativen Volumenelements, abgekürzt RVE. Seine charakteristische Länge ℓ muss zumindest eine Größenordnung kleiner als die charakteristischen Abmessungen L und Δ der untersuchten Struktur bzw. der auf sie einwirkenden Belastung sein. Die entsprechende mathematische Beziehung $d \ll \ell \ll L, \Delta$, in der d für die charakteristische Abmessung der einzelnen Bestandteile steht, wird als „separation-of-scales“-Bedingung bezeichnet. Die Homogenisierung besteht in der Ermittlung eines mechanisch äquivalenten, homogenen Materials für das RVE. Seine Steifigkeit C^{hom} lässt sich beispielsweise mittels der Kontinuumsmikromechanik aus der chemischen Zusammensetzung des RVE, der Steifigkeiten c_r der Einzelbestandteile, ihrer Morphologie – etwa kugelförmig oder zylindrisch – sowie ihrer Interaktion, gekennzeichnet durch eine durchgängige Matrixphase oder aber durch gegenseitigen Kontakt aller Phasen, ermitteln.

Worum handelt es sich bei Multi-Physics Methoden? Es sind dies Verfahren zur Lösung von Problemen, bei denen das Zusammenwirken der Mechanik mit anderen natur- und/oder technikwissenschaftlichen Teilgebieten berücksichtigt werden muss.

Als Beispiel nenne ich thermo-chemo-mechanische Kopplungen, die etwa bei der Entwicklung von Steifigkeit und Festigkeit von jungem Spritzbeton, der insbesondere im Hohlraumbau verwendet wird, eine bedeutende Rolle spielen. Ihre wissenschaftliche Grundlage ist die Thermodynamik chemisch reaktiver poröser Medien. Die makroskopische Beschreibung mikroskopischer Phänomene erfolgt dabei mittels Zustandsvariablen und energetisch konjugierter thermodynamischer Kräfte. In der Evolutionsgleichung für die Hydratation von Spritzbeton stellt der Hydratationsgrad ξ die Zustandsvariable und die von ξ abhängige chemische Affinität A die entsprechende thermodynamische Kraft dar. Im gegenständlichen Fall lässt sich die z.B. mittels der Finite-Elemente Methode erfolgende thermo-chemo-mechanische Analyse in zwei aufeinander folgende Analysen – die thermochemische und die chemomechanische Analyse – auflösen. Bestandteile bzw. Grundlagen der thermochemischen Analyse sind die von ξ abhängige Hydrationswärme L , die im 1. Hauptsatz der Wärmelehre aufscheint, und das Fourier'sche Wärmeleitgesetz. Der Output dieser Analyse – Hydrationsgrad und Temperaturfelder – wird zum Input der anschließenden chemomechanischen Analyse, die Spannungs- und Verzerrungsfelder der untersuchten Struktur – z.B. einer Tunnelschale – liefert.

6. Anwendungen

Im Folgenden will ich über aktuelle Anwendungen der Rechnerunterstützten Numerischen Mechanik an meiner Wirkungsstätte berichten.

6.1 Steinschlag auf eine ölführende Rohrleitung

Die erste Anwendung handelt von Steinschlag auf eine ölführende Rohrleitung (Abb. 17). In der Transalpinen Ölleitung werden 35 Millionen Tonnen Rohöl pro Jahr vom Ölhafen Triest über den Alpenhauptkamm zu süddeutschen Raffinerien befördert. Im Nationalpark Hohe Tauern beträgt der Rohrdurchmesser einen Meter und die Wandstärke 11 Millimeter. Das Rohr ist mit weitabgestuftem sandigen Schotter einen Meter tief eingeschüttet. Die Trasse verläuft teilweise entlang nahezu senkrechter Felswände. Laut Einschätzung von Geologen können Felsblöcke aus einer Höhe von bis zu 100 Metern herabstürzen. Das Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen der Technischen Universität Wien wurde beauftragt, die Sicherheit der Rohrleitung bei auf die Einschüttung auftreffenden Felsblöcken zu untersuchen.

Zur Quantifizierung des Tragverhaltens des Rohres wurde einerseits ein kontinuumsmechanisches Modell entwickelt und andererseits der Eindringvorgang eines auf den Schotterkörper auftreffenden Felsblocks berücksichtigt (Abb. 18).

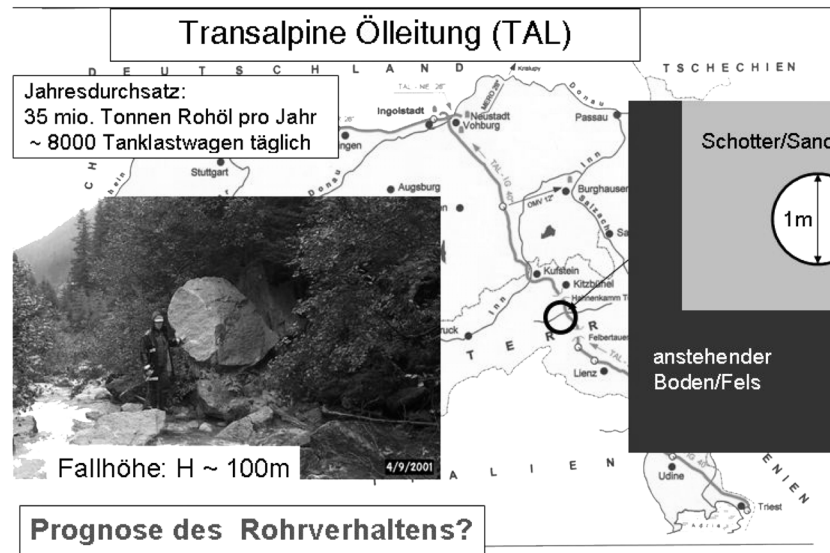


Abb. 17: Steinschlag auf eine Pipeline: Problemstellung.

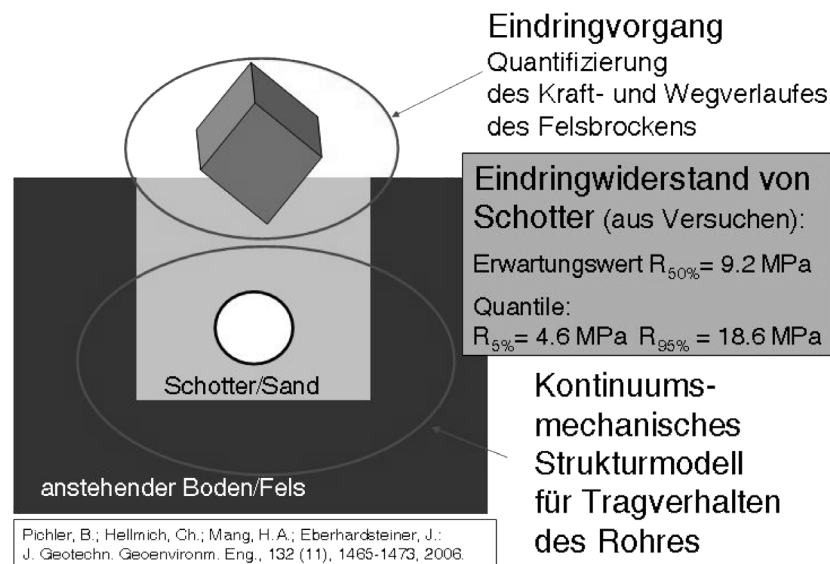


Abb. 18: Steinschlag auf eine Pipeline: Problembehandlung.

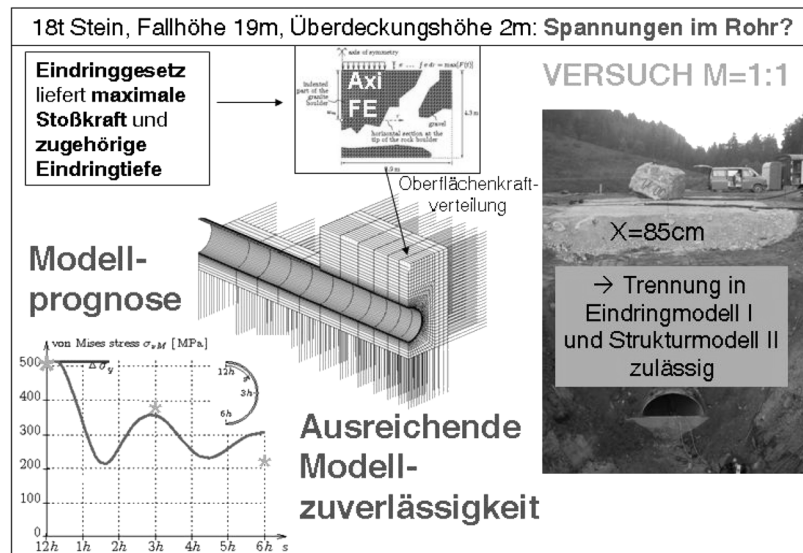


Abb. 19: Steinschlag auf eine Pipeline: Erstellung und Validierung des Rechenmodells.

Um die maximale Stoßkraft und die zugehörige Eindringtiefe prognostizieren zu können, wurden realmaßstäbliche Versuche durchgeführt. Angeregt durch eine Dimensionsanalyse, wurden diese Versuche unter Zuhilfenahme dimensionsloser mathematischer Penetrationsgesetze für Metallprojekte, die in Betonkörper eindringen, ausgewertet. Als Ergebnisse wurden Prognoseformeln sowohl für die Eindringtiefe von Felsblöcken in Schotterkörper als auch für die maximale Stoßkraft erhalten. Mittels einer statistischen Auswertung der durchgeführten Felssturzversuche konnte der Erwartungswert des Eindringwiderstandes des Schotterkörpers sowie dessen 5%- und 95%-Quantil bestimmt werden.

Mit Hilfe einer axialsymmetrischen Finite-Elemente Analyse erhält man eine der maximalen Stoßkraft mechanisch äquivalente Spannungsverteilung (Abb. 19). Die Spannungen stellen Randwerte dar, die für die Finite-Elemente Berechnung eines dreidimensionalen Strukturmodells benötigt werden. Zur Berücksichtigung der Eindringtiefe des Felsblocks wird in dieser Berechnung die reale Überdeckungshöhe des Rohres um die Eindringtiefe des Felsblocks bei Erreichen der maximalen Stoßkraft abgemindert. Da die Dauer des Eindringvorgangs sehr viel größer ist als die Eigenschwingungsdauer der vom Aufprall des Felsblocks betroffenen Struktur, ist eine quasistatische Ermittlung der Rohrbeanspruchung zulässig.

Zur Validierung des Strukturmodells wurde ein Strukturversuch durchgeführt. Ein näherungsweise würfelförmiger Felsblock mit einer Masse von 18 Tonnen

wurde aus einer Höhe von rund 19 Metern derart fallen gelassen, dass er mit einer Spitze oberhalb einer zwei Meter tief eingegrabenen Rohrleitung aufschlug. Der Felsblock drang 85 cm tief in den Schotterkörper ein.

Die mit Hilfe des entwickelten Strukturmodells für dieses Szenario quantifizierte Beanspruchung des Rohres wurde in Form eines Diagramms dokumentiert. Auf der Ordinate ist die Vergleichsspannung nach von Mises aufgetragen. Die Abszisse betrifft eine Umfangskoordinate, deren Zählung am höchsten Punkt der Innenseite des Rohres beginnt und am tiefsten Punkt endet.

Im Strukturversuch wurde an ausgewählten Punkten des Rohres die Beanspruchung während des Eindringvorganges mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen ermittelt. Die daraus errechneten maximalen Spannungen stimmen in den Bereichen der größten Rohrbeanspruchung sehr gut mit den vom Strukturmodell vorhergesagten Spannungen überein. Das Strukturmodell kann daher zur Abschätzung der Sicherheit der Rohrleitung bei auf die Einschüttung auftreffenden Felsblöcken verwendet werden.

Um zu zeigen, dass eine Einschüttungstiefe von nur einem Meter keinen ausreichenden Schutz vor Felssturzlasten bietet, wurde ein weiterer Strukturversuch durchgeführt: Der 18 Tonnen schwere Felsblock wurde auf die Einschüttung einer nur ein Meter tief vergrabenen Rohrleitung aus 19 Metern Höhe fallen gelassen (Abb. 20). Dadurch entstanden unmittelbar unterhalb der Aufprallstelle große bleibende Rohrdeformationen. Obwohl das Rohr dicht blieb, sind derartige Verformungen im normalen Betrieb unzulässig.

Der soeben beschriebene Strukturversuch und das validierte Strukturmodell erlauben die Beurteilung des von Geologen prognostizierten „worst case“ Szenarios, in dem ein 10 Tonnen schwerer Felsblock aus einer Höhe von 100 Metern herabstürzt.

Die Beurteilung der Situation bei einer Überdeckungshöhe von einem Meter kann auf Basis der prognostizierten Eindringtiefe erfolgen, die in vorliegendem Diagramm über der Fallhöhe aufgetragen ist. Die strichlierte Kurve entspricht dem Erwartungswert für den Eindringwiderstand des Schotters. Die beiden vollen Kurven beziehen sich auf das 5%- bzw. 95%-Quantil des Eindringwiderstandes. Für 100 Meter Fallhöhe ist eine Eindringtiefe von rund eineinhalb Metern zu erwarten. Die Eindringtiefe ist also größer als die Überdeckung des Rohres. Folglich würde der Stein das Rohr erreichen und zumindest ähnliche, unzulässige Rohrdeformationen wie im zuvor erwähnten Strukturversuch verursachen. Legt man der Berechnung der Eindringtiefe das 95%-Quantil des Eindringwiderstandes des Schotters zugrunde, dann ist die zu erwartende Eindringtiefe zwar kleiner, aber immer noch größer als die vorhandene Überdeckungshöhe. Folglich ist Ölaustritt sehr wahrscheinlich. Ein Meter Überdeckungshöhe ist somit nicht ausreichend, um adäquaten Schutz vor Felssturz zu bieten.

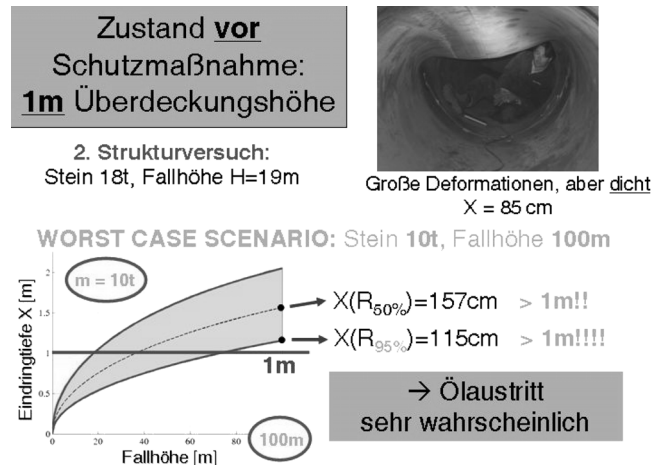


Abb. 20: Steinschlag auf eine Pipeline bei 1m Überdeckungshöhe.

Bei einer Überdeckungshöhe von drei Metern liefert die Finite-Elemente Simulation mit dem zuvor vorgestellten Strukturmodell hingegen Größtwerte der Vergleichsspannung nach von Mises, die deutlich unter der Fließgrenze liegen (Abb. 21). Große Deformationen des Rohrs sind also unwahrscheinlich und Ölaustritt sogar sehr unwahrscheinlich.

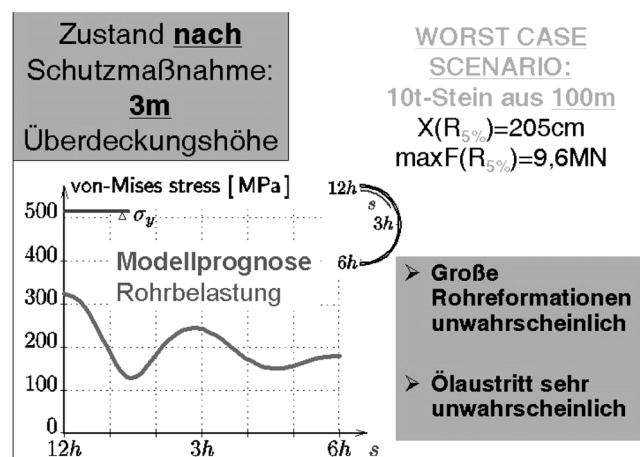


Abb. 21: Steinschlag auf eine Pipeline bei 3m Überdeckungshöhe.

6.2. Verbesserung des Nachbeulverhaltens

Bei der Präsentation von Schadensfällen kam ich auch auf den Einsturz einer Brücke infolge Ausknickens des Obergurts zu sprechen. Bei schlanken Konstruktionen tritt Stabilitätsverlust bereits vor dem Erreichen der Fließgrenze des Materials ein. Es liegt somit Strukturversagen vor.

Die Folgen des Stabilitätsverlustes einer perfekten, d.h. von Planabweichungen freien Struktur, wie sie freilich in der technischen Praxis nicht vorkommt, hängen von ihrem mechanischen Verhalten bei und nach dem Erreichen der Stabilitätsgrenze ab. Dieses ist mit dem mechanischen Verhalten der realen, imperfekten Struktur korreliert. Bei der im linken Teil der Abbildung dargestellten zylindrischen Schale ohne elastische Feder sind die erwähnten Folgen nachteiliger als bei der durch eine solche Feder versteiften Schale von gleicher Form und Belastung, wie sie im rechten Teil der Abbildung gezeigt wird (Abb. 22). Das äußert sich in der Form der Last-Verschiebungskurve nach dem Erreichen der Stabilitätsgrenze S , bei der es sich um einen Verzweigungspunkt handelt. In den beiden Diagrammen bezeichnet λ einen dimensionslosen Lastparameter und w_A die Durchbiegung im Punkt A in Richtung der Einzellast λP . Nach dem Erreichen von S ist zwischen dem strichlierten Primärpfad und der Projektion des als Nachbeulpfad bezeichneten Sekundärpfades in die Zeichenebene zu unterscheiden. Die Feder bewirkt nicht nur eine Anhebung der Stabilitätsgrenze S , sondern auch eine Erhöhung des Anstiegs der erwähnten Projektion des Sekundärpfades in S .

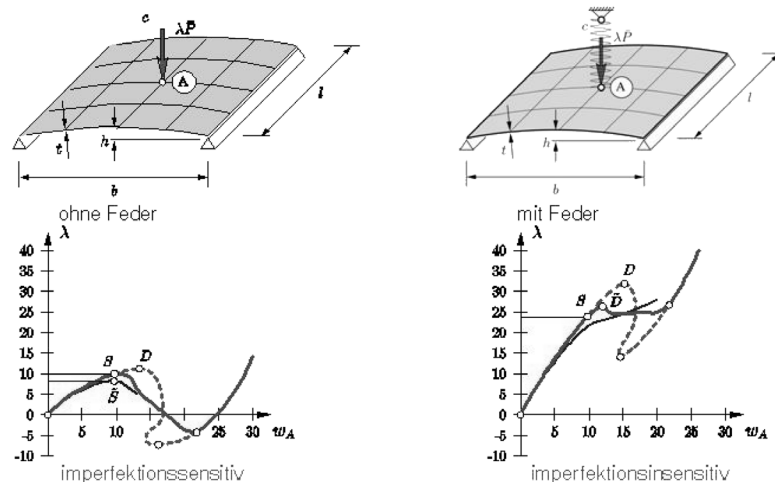
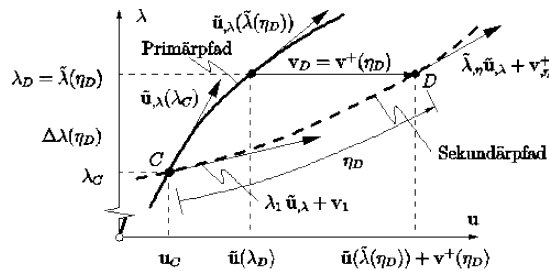


Abb. 22: Verbesserung des Nachbeulverhaltens.

In der technischen Praxis kommt es darauf an, ob die reale Struktur imperfektionssensitiv oder -insensitiv ist. Der qualitative Unterschied dieser beiden Begriffe wird bei einem Vergleich der dritten Kurve in den beiden Last-Verschiebungsdiagrammen klar. Bei gleicher Imperfektion ergibt sich bei der imperfektionssensitiven, federlosen Schale eine nichtmonotone Last-Verschiebungskurve mit dem Punkt \tilde{S} als Maximum des Lastparameters, während man bei der imperfektionsinsensitiven, federversteiften Schale eine monoton ansteigende Last-Verschiebungskurve erhält. Der Punkt \tilde{S} kennzeichnet den Beginn des Durchschlagens der imperfektionssensitiven Schale. Dabei handelt es sich um einen dynamischen Prozess, der infolge von Dämpfung allerdings rasch abklingt.

Durch Konversion einer imperfektionssensitiven in eine imperfektionsinsensitive Struktur lässt sich also Stabilitätsverlust vermeiden. Vergegenwärtigt man sich, dass etwa bei einem von einer Schale überspannten Theatersaal zusätzliche Säulen die Rolle der Feder im vorliegenden akademischen Beispiel übernehmen müssten, dann wird die Problematik unerwünschter architektonischer Konsequenzen einer solchen Konversion ersichtlich.

Für grundlegende Untersuchungen ist die in der Gleichgewichtsbedingung für den Sekundärpfad aufscheinende Funktion G^+ für einen beliebigen Punkt auf diesem Pfad, der hier mit D bezeichnet werden soll, als Taylor'sche Reihe im Verzweigungspunkt C zu entwickeln (Abb. 23). In diese Reihe sind die der Abbildung entnehmbaren asymptotischen Entwicklungen für die Verschiebungs-

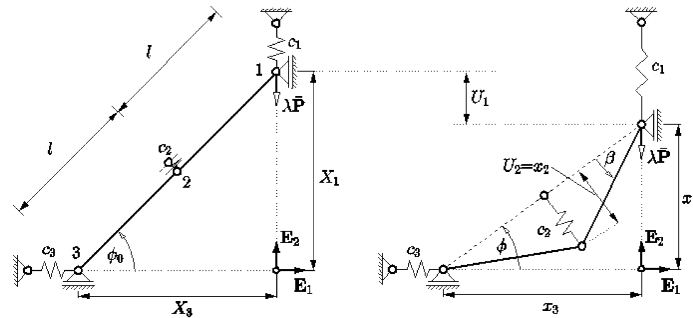


- Entwicklung von $G^+(v, \tilde{\lambda})$ in $G^+(v, \tilde{\lambda}) = 0$ als Taylor'sche Reihe im Verzweigungspunkt $C(u_C, \lambda_C)$
- Asymptotische Entwicklungen im Verzweigungspunkt $C(u_C, \lambda_C)$:

$$v^+(\eta) = v_1\eta + v_2\eta^2 + v_3\eta^3 + v_4\eta^4 + \dots$$

$$\Delta\lambda(\eta) = \lambda_1\eta + \lambda_2\eta^2 + \lambda_3\eta^3 + \lambda_4\eta^4 + \dots$$

Abb. 23: Mathematische Beschreibung des initialen Nachbeulverhaltens.



Entwurfsparameter: Federsteifigkeit c_i

Mathematische Bedingungen für den Übergang von Imperfektionssensitivität zu Imperfektionsinsensitivität:

$$\lambda_i = 0, i = 1, 2, \dots \rightarrow \Delta\lambda(\eta) = 0$$

Abb. 24: Gelenkig verbundene, starre Stäbe (System mit zwei Freiheitsgraden).

differenz v^+ zwischen D und dem entsprechenden Punkt auf dem Primärpfad sowie die auf C bezogene Lastdifferenz $\Delta\lambda$ einzutragen. Durch Nullsetzen der Koeffizienten von η, η^2, η^3 , usw., im Ergebnis $-\eta$ stellt den Pfadparameter dar – erhält man Beziehungen, welche die schrittweise Ermittlung von v_1 und λ_1 , v_2 und λ_2 , usw. erlauben.

Eine besondere Form des Übergangs von Imperfektionssensitivität zu Imperfektionsinsensitivität liegt bei einem System mit zwei Freiheitsgraden vor, das aus zwei elastisch gelagerten, gelenkig miteinander verbundenen, starren Stäben besteht (Abb. 24). Belastet wird es mit einer im Punkt 1 vertikal angreifenden Last $\lambda\bar{P}$. Die Federsteifigkeit c_1 stellt den Entwurfsparameter dar. Die mathematischen Bedingungen für den Übergang von Imperfektionssensitivität zu Imperfektionsinsensitivität sind in diesem Fall durch das Verschwinden aller Koeffizienten λ_i im Ausdruck von $\Delta\lambda(\eta)$ gekennzeichnet. Somit wird dieser Ausdruck zu Null.

Die Projektion des Sekundärpfades in die Zeichenebene ist in diesem Fall eine gerade Strecke (Abb. 25). Der bei $c_1 = 1,5$ stattfindende Übergang von Imperfektionssensitivität zu Imperfektionsinsensitivität ist folglich durch eine in dieser Projektion horizontale Strecke gekennzeichnet. Den Last-Verschiebungspfaden sind $\lambda^* - \lambda$ Kurven zugeordnet. Sie sind Teil der Lösung des konsistent linearisierten Eigenproblems. Die vollen Eigenwertkurven betreffen den Verzweigungsmodus und die strichlierten den Durchschlagsmodus. Für $c_1 \approx 5,6$ verschwindet der so genannte Nichtlinearitätsparameter a_1 nicht-trivial. In diesem Fall weist die Eigenwertkurve im Punkt C , der die Stabilitätsgrenze repräsentiert, einen Sattelpunkt auf.

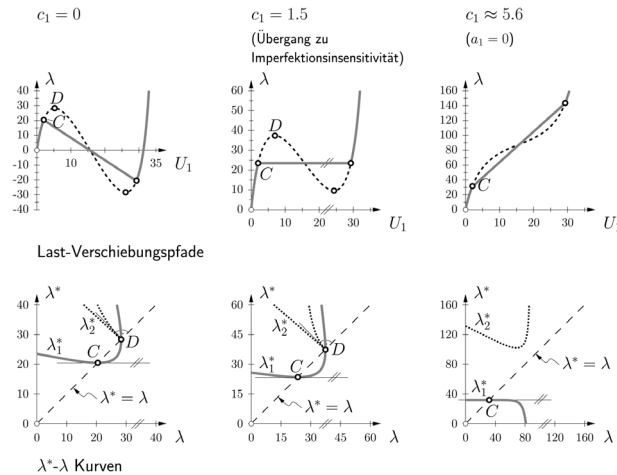


Abb. 25: Konversion einer imperfektionssensitiven in eine imperfektionsinsensitive Struktur.

6.3. Thermo-chemo-mechanische Kopplungen bei der Entwicklung von Steifigkeit und Festigkeit jungen Spritzbetons

In Computational Mechanics bloß ein Werkzeug zur numerischen Lösung mechanischer Probleme zu erblicken, hieße den starken Synergieeffekt verkennen, der von der zunehmenden Verflechtung von Mechanik und Werkstoffwissenschaft ausgeht. Moderne Werkstoffwissenschaft ohne adäquate mechanische Modellierung bliebe ebenso Stückwerk wie zeitgemäße Mechanik ohne angemessene Erfassung von Prozessen, die beobachtbare Phänomene im Materialverhalten bestimmen bzw. verändern.

Lassen Sie mich, meine sehr geehrten Damen und Herren, dort fortsetzen, wo ich bei der Erläuterung der Grundlagen von Multi-Scale Formulierungen und Multi-Physics Methoden stehen geblieben bin. Es waren dies thermo-chemo-mechanische Kopplungen bei der Entwicklung von Steifigkeit und Festigkeit jungen Spritzbetons. Die folgenden Überlegungen sollen allerdings nicht auf diese spezielle Betonart beschränkt bleiben.

Beton ist in der Regel Umwelteinflüssen, wie etwa Temperaturschwankungen und dem Transport aggressiver Fluide, ausgesetzt. Eine realitätsnahe Beschreibung des Materialverhaltens erfordert neben der Einbeziehung unterer Wirkungsebenen im Rahmen der Multi-Scale Modellierung die Erfassung der Bauteil- bzw. Strukturverformung, der Temperaturverteilung sowie etwaiger Transportprozesse (Abb. 26). Es liegen also mehrere Variablenfelder vor. Zur Lösung des kombinierten Mehrskalen- und Mehrfeldproblems ist folglich neben der Multi-Scale Modellierung ein Multi-Field Ansatz erforderlich.

Beton: poröser Werkstoff, dessen Festigkeit und Steifigkeit im Zuge der Hydratation entsteht

... zeitabhängige mechanische Eigenschaften
... Transport (aggressiver) Fluide

Berücksichtigung der wesentlichen Prozesse in ihren Wirkungsebenen:

⇒ Lösung des Multi-Scale - Multi-Field-Problems

Beispiel:

Thermo-chemo-
mechanische
Kopplungen

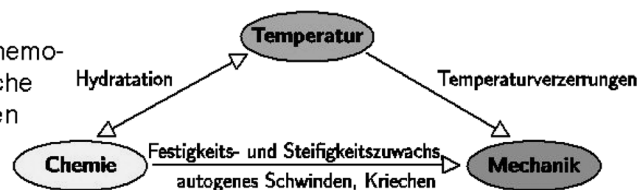


Abb. 26: Thermo-chemo-mechanische Kopplungen von Beton.

Bei der Hydratation jungen Betons kommt es zu einer *Temperaturerhöhung* im Bauteil und in weiterer Folge zu einer Verbesserung der *mechanischen* Eigenschaften des Betons. Andererseits beeinflusst die Temperatur die *chemische* Reaktion zwischen Zement und Wasser. Temperaturverzerrungen bewirken eine zusätzliche *mechanische* Beanspruchung der Struktur. Bei jungem Beton stehen also die Felder *Chemie*, *Temperatur* und *Mechanik* miteinander in Wechselwirkung. Die Berücksichtigung dieser Interaktion kennzeichnet die problem-spezifische Multi-Physics Methode.

Infolge Hydratation ändert sich die Materialzusammensetzung des jungen Betons. Bei der vorliegenden Multi-Scale Modellierung wird diese Änderung auf den beiden untersten Ebenen – der Hydrat- bzw. Klinkerebene und der Zementsteinebene – berücksichtigt (Abb. 27). Zusätzlich zu diesen beiden Betrachtungsebenen weist das abgebildete Multi-Scale Modell für jungen Beton zwei weitere Betrachtungsebenen – die Mörtel- und die Makroebene – auf. Die makroskopischen Materialeigenschaften werden mittels geeigneter mathematischer Homogenisierungsverfahren auf Basis der Morphologie der Einzelbestandteile und ihrer mechanischen Eigenschaften auf den drei unteren Betrachtungsebenen erhalten.

Die Identifizierbarkeit dieser Eigenschaften wurde durch jüngere Entwicklungen auf dem Gebiet der Nanoindentation wesentlich erleichtert (Abb. 28). Bei der Nanoindentation – siehe das Bild rechts oben in Abb. 28 – dringt eine dia-

Multi-Scale Modell

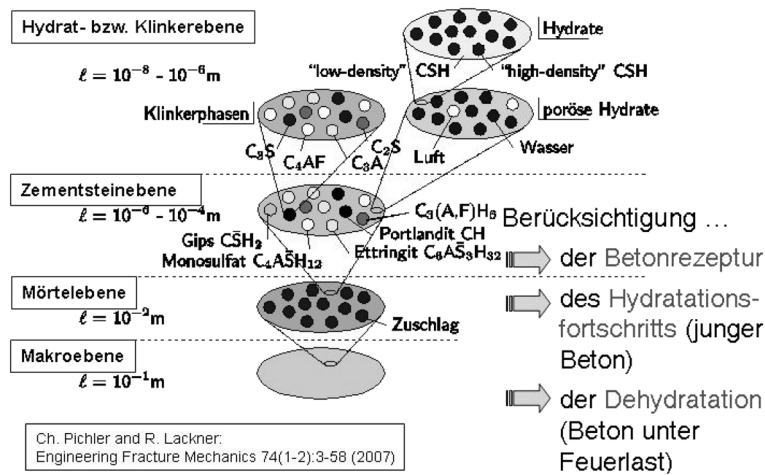
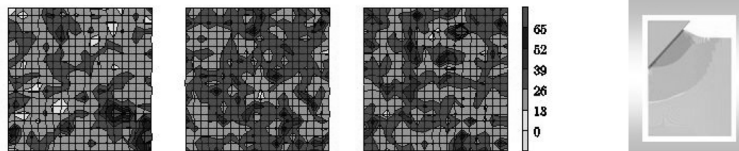


Abb. 27: Multi-Scale Modellierung von Beton.

Identifizierungsversuche

Nanoindentation: Elastizitätsmodell für Zemente mit verschiedenen Mahlfeinheiten (3000, 3890, 4850 cm²/g)



Validierungsversuche

Beispiel: Spritzbeton mit ...
 Wasser/Zement-Wert = 0.48
 Mahlfeinheit = $4895 \text{ cm}^2/\text{g}$
 Volumenanteil der Aggregate = 70 %
 (Homogenisierung mittels
 Kontinuumsmikromechanik)

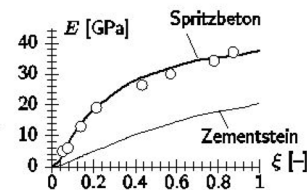


Abb. 28: Identifizierung und Validierung des Multi-Scale Modells für Beton.

mantere Spitze von gegebener Form in die Oberfläche des Betons ein. Dabei werden Kraft und Eindringung als Funktionen der Zeit aufgezeichnet. Aus den

stehen die zeitlich veränderlichen Randwerte zur numerischen Ermittlung des zeitlich variablen Verformungs- und Spannungszustandes in der Schale durch Lösung einer kombinierten Rand- und Anfangswertaufgabe zur Verfügung. Bei Kenntnis der zeitlichen Entwicklung des Spannungszustandes lässt sich die Evolution des Auslastungsgrades bestimmen. Dieser ist durch den Abstand des Punktes *a* im rechten unteren Bild von dem auf der Versagenskurve gelegenen Punkt *b* gekennzeichnet. Der Punkt *a* repräsentiert den Spannungszustand im betrachteten Punkt der Spritzbetonschale. Die Versagenskurve stellt den geometrischen Ort aller kritischen Spannungszustände dar. Ihre Form hängt vom gewählten Materialmodell ab. Ein Auslastungsgrad von 100 % signalisiert Materialversagen.

Das linke und das mittlere Bild in Abb. 29 zeigen den zeitlichen Verlauf der Verteilung des Auslastungsgrades über einen bestimmten Querschnitt beim Vortrieb eines Eisenbahntunnels am Stadtrand Wiens, wobei zuerst nur an der Firste und erst später an den Ulmen ausgebrochen und mit Spritzbeton gesichert wurde. Mit den mittels des Multi-Scale Modells bestimmten elastischen und viskosen Materialeigenschaften wird die Berechnung als Multi-Field Analyse durchgeführt. Auf diese Weise lässt sich etwa der Temperaturanstieg in der Spritzbetonschale in der Frühphase der Hydratation realitätsnahe abbilden und die daraus resultierende Steigerung der Auslastung wirklichkeitsnahe quantifizieren. Die stark ausgeprägte Kriechfähigkeit des jungen Spritzbetons führt zu einem raschen Abbau der in der Schale anfänglich aufgebauten Druckbeanspruchung, die eine Verringerung der Auslastung nach sich zieht.

Bei der Hydratation nehmen Steifigkeit und Festigkeit von Beton infolge Bildung von Hydratationsprodukten zu. Bei Temperaturbelastung nehmen diese mechanischen Größen hingegen infolge Dehydratation dieser Reaktionsprodukte stark ab. Dieser Eigenschaft von Beton kommt bei Feuerbelastung in Hohlraumbauten, die durch einen raschen Temperaturanstieg und Größtwerte der Temperatur von über 1000° C gekennzeichnet ist, entscheidende Bedeutung zu. Die schnelle Ausdehnung des verdampfenden Wassers im Beton führt nicht nur zur Zerstörung des Betongefüges, sondern auch zum Abplatzen oberflächennaher Betonschichten. Die Modellierung des entsprechenden Druckanstiegs im Porenraum des erhitzten Betons sowie die Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Betons erfordert wiederum einen Mehrskalen-Mehrfeld Ansatz (Abb. 30).

Besondere Kennzeichen der Berechnung sind die Modellierung der Spritzbetonschale als Stabwerk und die Berücksichtigung von Transportprozessen bei der Verdampfung von Wasser. Eines der durch numerische Simulation einer feuerbeanspruchten eingleisigen Tunnelröhre erhaltenen Ergebnisse ist der Abb. 30 links unten dargestellte Verlauf der Firstverschiebung im untersuchten Tunnelquerschnitt für vier verschiedene Abplatzszenarien, die sich durch verschiedene finale Abplatztiefen voneinander unterscheiden. Kollaps der Tunnelschale

Fragestellung:

Sicherheit von Hohlraumbauten unter Feuerlast

Methode:

- Modellierung der Schale als Stabwerk-System
- Berücksichtigung von Transportprozessen (Wasser, Wasserdampf)
- Multi-Scale - Multi-Field Berechnung

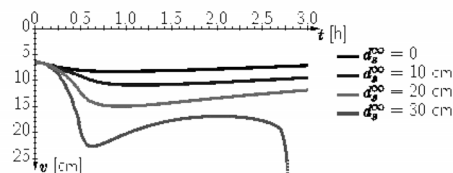
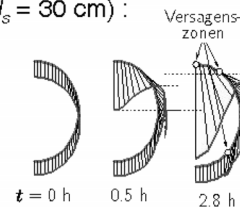
**Ergebnis:**Firstverschiebung v für verschiedene finale AbplatztiefenVersagensmechanismus ($d_s^{\infty} = 30$ cm) :

Abb. 30: Sicherheit von Hohlraumbauten unter Feuerlast.

ergibt sich laut Rechnung bei einer finalen Abplatztiefe von 30 cm. Er ist durch eine rasch ansteigende Firstverschiebung gekennzeichnet. Der im Bild rechts unten dargestellte entsprechende Kollapsmechanismus weist drei Versagenszonen auf.

7. Ausblick und Schluss

Hohe Festversammlung! Würd' man in Computational Mechanics je zum Augenblicke sagen: Verweile doch! du bist so schön! dann liefe man Gefahr, in Selbstzufriedenheit zu verfallen und in weiterer Folge die Zukunftsperspektiven dieses umfassenden, in ständiger Fortentwicklung begriffenen Fachgebiets nicht mehr klar zu erkennen.

Wie aber wird sich die nähere Zukunft dieser ingenieurwissenschaftlichen Grundlagendisziplin, die zugleich eine bedeutende technologische Speerspitze repräsentiert, eigentlich gestalten?

Die Vernetzung der Mechanik mit anderen natur- und technikwissenschaftlichen Fachgebieten wird in steigendem Maße zur unabdingbaren Voraussetzung für die Lösung anspruchsvoller technischer Probleme werden. Multi-physics wird von einem heute mitunter überstrapazierten Schlagwort zu einem aus der Computational Mechanics nicht mehr wegzudenkendem Begriff mutieren. Ab-

zuwarten bleibt, ob das Auswirkungen auf universitäre Strukturen haben wird. Stärker grundlagenbezogene Rechenmodelle werden Konzepte, die hauptsächlich empirisch begründet sind, weiter zurückdrängen. Mehrskalenformulierungen werden zum besseren Verständnis dessen, „was die Welt“ technischer Konstruktionen „im Innersten zusammenhält“ entscheidend beitragen. Wesentlich leistungsfähigere mathematische Verfahren und auf ihnen beruhende Algorithmen als wir sie heute kennen, werden das Potential von Modellen, die auf Multi-physics Methoden und/oder Multiscale-Formulierungen beruhen, ausschöpfen. Ungeachtet der Realisierbarkeit des Traums vom Quantencomputer wird die Leistungsfähigkeit der Rechner weiter steigen. Nicht zuletzt wird die experimentelle Validierung numerischer Ergebnisse immer mehr zur Regel werden.

Welchen Schluss erlaubt dieser Ausblick in die Zukunft der Rechnerunterstützten Numerischen Mechanik?

Zur Beantwortung dieser Frage greife ich einerseits auf die Urfassung der Schlussrede Fausts zurück und nehme andererseits auf den Vortragstitel Bezug. Die Antwort lautet dann kurz und bündig: **In Computational Mechanics darf nie zum Augenblick man sagen: „Verweile doch! du bist so schön!“**

8. Danksagung

Herzlichen Dank für die tatkräftige Unterstützung bei der Vorbereitung dieses Vortrags sage ich dem Vorstand des Instituts für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen der Technischen Universität Wien, Herrn Prof. Josef Eberhardsteiner, der mir die Ehre seiner Anwesenheit bei der heutigen Feier erweist, sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am genannten Institut, insbesondere Herrn Dr. Friedrich Firneis, Herrn Prof. Christian Hellmich, Frau Dr. Karin Hofstetter, Herrn Prof. Roman Lackner, hauptberuflich an der Technischen Universität München tätig, Herrn Dipl.-Ing. Herbert Müllner, Herrn Dr. Bernhard Pichler *und nicht zuletzt* Frau Mag. Martina Pöll.

Meine sehr geehrten Damen und Herren, ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

9. Bildnachweise

Abb. 1: Faust: Der Tragödie erster Teil, Studierzimmer (2); Besiegelung des Pakts mit Mephistoles.

Abb. 2: Goethe und Gauß.

Abb. 3: Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien.

Abb. 4: Einladung zur Feierlichen Eröffnungs-Sitzung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien im Jahre 1848.

- Abb. 5: Dankbrief von Gauß nach seiner Wahl zum Ehrenmitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien.
- Abb. 6: Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen der Technischen Universität Wien.
- Abb. 7: Wegbereiter der Rechnerunterstützten Numerischen Mechanik.
- Abb. 8: Stahlbeton – Einsturz von Kühltürmen.
- Abb. 9: Stahl – Einsturz einer Behelfsbrücke in Bosnien infolge Ausknickens des Obergurts.
- Abb. 10: Holz – Kollaps der Eissporthalle in Bad Reichenhall ausgelöst durch außergewöhnlich große Schneebelastung.
- Abb. 11: Asphalt – Schäden an Straßen zufolge kombinierter Beanspruchung aus Temperatur und Verkehr.
- Abb. 12: Biologische Materialien – Knochenbruch.
- Abb. 13: Grundlagen der Finite-Elemente Methode am Beispiel einer Scheibe (1).
- Abb. 14: Grundlagen der Finite-Elemente Methode am Beispiel einer Scheibe (2).
- Abb. 15: Grundlagen der Finite-Elemente Methode: Erweiterung auf nichtlineare Probleme.
- Abb. 16: Multi-Scale Formulierungen.
- Abb. 17: Steinschlag auf eine Pipeline: Problemstellung.
- Abb. 18: Steinschlag auf eine Pipeline: Problembehandlung.
- Abb. 19: Steinschlag auf eine Pipeline: Erstellung und Validierung des Rechenmodells.
- Abb. 20: Steinschlag auf eine Pipeline bei 1m Überdeckungshöhe.
- Abb. 21: Steinschlag auf eine Pipeline bei 3m Überdeckungshöhe.
- Abb. 22: Verbesserung des Nachbeulverhaltens.
- Abb. 23: Mathematische Beschreibung des initialen Nachbeulverhaltens.
- Abb. 24: Gelenkig verbundene, starre Stäbe (System mit zwei Freiheitsgraden).
- Abb. 25: Konversion einer imperfektionssensitiven in eine imperfektionsinsensitive Schale.
- Abb. 26: Thermo-chemo-mechanische Kopplungen von Beton.
- Abb. 27: Multi-Scale Modellierung von Beton.
- Abb. 28: Identifizierung und Validierung des Multi-Scale Modells für Beton.
- Abb. 29: Auslastung der Spritzbetonschale im Zuge des Tunnelvortriebs.
- Abb. 30: Sicherheit von Hohlraumbauten unter Feuerlast.

DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

VERLEIHT DIE

CARL FRIEDRICH GAUSS-MEDAILLE

HERRN

PROF. DR. TECHN. DR. H.C.MULT.
HERBERT A. MANG

WIEN

IN WÜRDIGUNG SEINER WEGWEISENDEN FORSCHUNGEN AUF DEM GEBIET
MODERNER SIMULATIONSVERFAHREN IM BAUINGENIEURWESEN. DURCH DIESE
ENTWICKLUNGEN WURDE EINE BRÜCKE VON NEUEN THEORETISCHEN UND
NUMERISCHEN METHODEN HIN ZU VIELEN INGENIEURPRAKTISCHEN
ANWENDUNGEN GESCHLAGEN UND EIN ERHEBLICHER ERKENNTNISGEWINN
ERZIELT.

Braunschweig, den 30. April 2007



Präsident
der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft

Mang, Herbert, Prof. Dr., Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, A-1040 Österreich

- 1942, 05.01 geb. in Wien
- 1960 Abitur am Bundesrealgymnasium XII, Wien
- 1967 Technische Universität Wien (Bauingenieurwesen), Dipl.-Ing.
- 1968-79 Univ. Assistent, Inst. f. Elastizitäts- und Festigkeitslehre, TU-Wien
- 1970 Technische Universität Wien, Dr. techn., mit Auszeichnung
- 1971-73 Fulbright Fellow, Texas Tech University, Lubbock
- 1974 Texas Tech University, Lubbock, Ph. D. (Major: Structural Engineering, Minor: Mathematics), mit Auszeichnung
- 1975-76 Max-Kade Fellow, Cornell University, Ithaca
- 1977 Habilitation (Festigkeitslehre mit bes. Berücksichtigung der Methode der Finiten Elemente), Fakultät f. Bauingenieurwesen, TU-Wien
- 1979 Ernennung zum Ao. Univ.-Prof., TU-Wien
- 1979 Visiting Associate Prof., Tokyo University
- 1981 UNIDO-Fachexperte, Zhengzhou Research Institute for Mechanical Engineering, Zhengzhou, Volksrepublik China
- 1983 O.Univ.-Prof. für Elastizitäts- und Festigkeitslehre, TU-Wien
- 1994-1995 Prorektor d. TU-Wien

Wichtige Veröffentlichungen, insbesondere Bücher

Bücher: HOFSTETTER, G. & H.A. MANG: Computational Mechanics of Reinforced Concrete Structures. Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1995, 366 S.
MANG, H. & G. HOFSTETTER: Festigkeitslehre, Springer-Verlag, Wien-New York, 2000, 485 S. (zweite, aktualisierte Auflage, Springer, Wien-New York, 2004, 487 S.

MANG, H.A. (unter Mitwirkung von F. FIRNEIS): 2003-2006 dicta et scripta, Ansprachen, Buchbeiträge, Interviews, Vorträge, Verlag der österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 2006, 335 S.

Handbuchkapitel: MANG, H.A., R. LACKNER, G. MESCHKE & J. MOSLER: Computational Modeling of Concrete Structures. Comprehensive Structural Integrity (Hhg. B. KARIHALOO, R.O. RITCHIE & I. MILNE), Band III (Herausgeber: DE BOST R. & H.A. MANG), S. 541-605, Elsevier, Oxford, 2003.

Zeitschriftenaufsatz: LACKNER, R. & H.A. MANG: A posteriori Error Estimation and Adaptive Mesh Refinement in Chemoplastic Analysis of Shotcrete Tunnel Linings, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 195 (2006), S. 363-372.

Mitherausgeber von 10 Proceedings, darunter solche von 2 IUTAM/IACM Symposien über Discretization Methods in Structural Mechanics, von je einem

Special Issue des Fifth World Congress on Computational Mechanics (Int. J. for Numerical Methods in Engineering) und der EURO-C 2003 (Int. J. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics) und von zwei Fachzeitschriften (Engineering Structures, Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences); Mitglied d. Herausgeberstabs von 34 überwiegend internationalen Fachzeitschriften.

Mitgliedschaften in Akademien und wissenschaftlichen Gesellschaften

Wirkl. Mitglied der Österr. Akademie der Wissensch. (seit 1992, korr. Mitglied 1985-92, 1995-2003 Generalsekretär, 2003-2006 Präsident)
 Ausw. Mitglied d. U.S. National Academy of Engineering (seit 2004)
 Ausw. Mitglied d. Poln. Akademie der Wissensch., Warschau (seit 2000)
 Korr. Mitglied d. Kroat. Akademie der Wissensch. und Künste (seit 2004)
 Ausw. Mitglied d. Poln. Akademie der Wissensch. und Künste, Krakau (seit 2004)
 Ehrenmitglied d. Albanischen Akademie d. Wissensch. (seit 2006)
 Mitglied d. Slowak. Akademie d. Ingenieurwissensch. (seit 1998)
 Mitglied d. New York Academy of Sciences (seit 1994)
 Ord. Mitglied d. Europ. Akademie d. Wissensch. und Künste, Salzburg (seit 1995)
 Korr. Mitglied d. Ac. Européenne des Sciences, des Arts et des Lettres, Paris (seit 2003)

Fellow of the American Society of Civil Engineers (seit 1990)
 Fellow of the International Association for Computational Mechanics (seit 1998)
 Fellow of the International Association for Bridge and Structural Engineering (seit 2001)
 Präsident d. Central European Association for Computational Mechanics (1992-95)
 Vizepräsident d. International Association for Computational Mechanics (seit 1998)
 Präsident d. European Community for Computational Methods in Applied Sciences (seit 2005)

Ehrungen und Auszeichnungen

Dr.h.c. d. TU Krakau (2000); Dr.techn.h.c. d. Leopold-Franzens Univ. Innsbruck (2003); Dr.h.c. d. National Technical Univ. of Ukraine („Kyiv Polytechnic Institute“) (2004); Dr.h.c. d. TU Prag (2004); 8 namhafte wiss. Preise; Österr. Ehrenkreuz f. Wiss. u. Kunst 1. Klasse (2002), Großes Goldenes Ehrenzeichen f. Verdienste um d. Republik Österr. (2006); Ehrenmitglied der Polish Association for Computational Mechanics und der Croatian Society for Mechanics.

Schlussworte des Generalsekretärs

Der Festvortrag, meine sehr verehrten Damen und Herren, für den wir dem diesjährigen Träger der Carl Friedrich Gauß-Medaille, Prof. Mang, auf vielfältige Weise zu Dank verbunden sind, hat uns vor Augen geführt, daß und warum wir in Computational Mechanics nie zum Augenblick sagen sollten „Verweile doch! du bist so schön!“, und das prägnante Beispiel dieses faszinierenden Forschungsfelds hat einmal mehr deutlich werden lassen, daß wir Fausts gefährliches Wort nirgendwo sagen sollten, wo überhaupt geforscht wird, weil es der innerste Feind des Wissens ist, Mephistopheles selbst in der Gestalt tragen Verlangens.

Der Augenblick nämlich, zu dem ich, weil er *nicht* verweilt, sagen könnte „Verweile doch!“ ist schon der andere von zwei Augenblicken, deren das europäische Denken in einem dritten, im *geschichtlichen* Augenblick des Entstehens der Wissenschaft inne geworden ist, der *laufende* Augenblick, der, stillgestellt, nur die Simulation seines Geschwisters wäre. Dies Geschwister, der Augenblick, der an ihm selbst „verweilt“, weil er nicht *in* der Zeit ist, auch nicht *außer* der Zeit, sondern ihre Grenze, die die Zeit allererst *als* Zeit sehen läßt, ist, mit Platon gesprochen, eine Idee, und die Ideen sind keine Zustände, sondern erste Bewegungen, *motores*, die den laufenden Augenblick weder feststellen noch auch verrinnen lassen, ihn vielmehr in die andern laufenden Augenblicke einzubinden geben als in eine Zeit-Reihe, die, gelingt solche Bindung, so „völlig schön“ wäre wie „die Zeit der Barmekiden“ im West-östlichen Divan.

Der Teufel, das ist eine bekannte Erfahrung, liest denselben Text, er betont ihn nur anders. Und Faust sagt im Augenblick der Wette zu Mephistopheles nicht

Kannst du mich mit *Genuß* betrügen:
Das sei für mich der letzte Tag!

sondern

Kannst du mich mit Genuß *betrügen*:
Das sei für mich der letzte Tag!

Fausts letzter Tag selbst bezeugt sein untrügliches Bewußtsein des Unterschieds von wahren und simuliertem Genuß. „Auf freyem Grund mit freiem Volke stehn“, diese europäische *Idee* der Freiheit ist es, die, als schlechthin realisierte eine *contradictio in adjecto*, Faust jenes Wort aussprechen ließe. Er weiß dies, denn im Augenblick seines Sterbens, es sind seine letzten Worte, segnet er stattdessen das *Zeitliche*:

Im *Vorgefühl* von solchem hohen Glück
Genieß ich *jetzt* den höchsten Augenblick.

Dieser Genuß, der wahre, ist dem Geist, der stets verneint (nur sich selber nicht), so unzugänglich wie unbekannt, er erkennt ihn als „den letzten, schlechten, leeren Augenblick“ und wiegt sich in der lächerlichen Gewißheit, Fausts habhaft geworden zu sein.

Die Grenze also, die jene europäische Idee seit zweieinhalb Jahrtausenden zieht, verläuft nicht zwischen Arbeit und Genuß – das ist nur die ökonomische Grenze: „les affaires sont les affaires et le plaisir et le plaisir“ –, sondern im Genuß selbst, zwischen dem im Vorgefühl erfüllten und dem bloß simulierten Genuß, dessen Maxime Mephistopheles gleich kommentierend anschließt: „Was soll uns denn das ewge Schaffen“. Worauf der ewig Schaffende schon am Anfang, einige zehntausend Verse früher, geantwortet hatte:

Des Menschen Tätigkeit kann allzuleicht erschaffen,
 Er liebt sich bald die unbedingte Ruh;
 Drum geb' ich gern ihm den Gesellen zu,
 Der reizt und wirkt, und muß, als Teufel, schaffen.“

Lassen Sie mich mit diesem poetisch-poietischen Reflex auf den Stachel der Forschung denen zum Schluß unsrer feierlichen Jahresversammlung danken, die uns heute freigebig am Genuß wissenschaftlicher Tätigkeit teilhaben ließen, Professor Peter Wriggers aus Hannover für die Laudatio, den Professoren Ernst Rank aus München, Ekkehard Ramm aus Stuttgart, Josef Eberhardsteiner aus Wien und Erwin Stein aus Hannover für die Gestaltung des Carl Friedrich Gauß-Kolloquiums, und insbesondere dem diesjährigen Träger der Carl Friedrich Gauß-Medaille, Professor Herbert Mang.

Ich wünsche Ihnen allen einen freundlichen Abend, eine frohe Erinnerung des heutigen Tages und, mit dem Wort des „Alten“ aus dem Prolog im Himmel,

was in schwankender Erscheinung schwebt,
 befestiget mit dauernden Gedanken.

Mitteilungen

Veröffentlichungen

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

Jahrbuch 2006 der BWG mit 146 Seiten

Abhandlungen der BWG, Band 57 mit 150 Seiten

Geschäftliche Mitteilungen

Am 31.12.2007 gehörten der BWG 143 ordentliche Mitglieder an, davon 80 unter 70 Jahren, sowie 71 korrespondierende Mitglieder. Die Zahl der Mitglieder unter 70 Jahren betrug in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften 30, in der Klasse für Ingenieurwissenschaften 25 und in der Klasse für Geisteswissenschaften 25. Von den ordentlichen Mitgliedern zählten zum Bereich Braunschweig 80, zum Bereich Clausthal 12, zum Bereich Göttingen 8, zum Bereich Hannover 39 und zum Bereich Osnabrück 4.

Das Plenum trat am 07.12.2007 zu seiner jährlichen Hauptsitzung zusammen, nahm die Jahresberichte des Präsidenten und des Generalsekretärs entgegen und beschloss den Haushalt 2008. In der Wahlsitzung am 07.12.2007 wurden die auf den Seiten 224 ff. vorgestellten Mitglieder zugewählt.

Das am 07.12.2007 tagende Konzil wählte den Gauß-Preisträger 2008 und legte die Feierliche Jahresversammlung auf den 16.05.2008 fest.

PERSONALIA

Todesfälle

- 26.02.2006 Wilhelm Mecke, Dr.-Ing., Prof.em. für Straßenwesen und Erdbau an der Technischen Universität Braunschweig. Ordentliches Mitglied der Klasse für Bauwissenschaften bzw. Ingenieurwissenschaften seit 1963.
- 24.04.2007 Arno Borst, Dr.phil., Prof.em. für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Konstanz. Korrespondierendes Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1986.
- 12.07.2007 Herbert Wilhelm, Dr.rer.pol., Prof.em. für Volkswirtschaftslehre an der TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1965. Präsident der BWG 1978 – 1980.

Zuwahlen

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am **20.04.07** gewählt

in der Klasse Ingenieurwissenschaften

Dinkler, Dieter, Prof. Dr.-Ing., TU Braunschweig, Institut für Statik, Beethovenstr. 51, 38106 Braunschweig

- 1951, 25.10. geb. in Wolfenbüttel
- 1971 Abitur in Salzgitter
- 1973-1979 Studium des Bauingenieurwesens in Berlin und Braunschweig
- 1979-1983 Wiss. Mitarbeiter am Institut für Statik der TU Braunschweig
- 1982 Promotion
- 1983-1989 Hochschulassistent
- 1988 Habilitation. Fritz-Peter-Müller-Preis der TH Karlsruhe
- Forschungsaufenthalt an der Stanford University
- 1989-1996 Professur für Aerorelastizität an der Univ. Stuttgart
- 1994 Forschungsaufenthalt an der VPISU - Virginia
- seit 1996 Leiter des Instituts für Statik an der TU Braunschweig
- 2000 Mitglied der Evaluierungskommission der ‚Civil Engineering Departments‘ in Brasilien
- 2004 Fachkollegiat der DFG

Zahlreiche Forschungskooperationen

Acht Monographien, zahlreiche Publikationen in Zeitschriften und Sammelbänden sowie Konferenzbeiträge.

in der Klasse für Geisteswissenschaften

Vogtherr, Thomas, Prof. Dr. phil., Universität Osnabrück, Historisches Seminar, Schloßstr. 8, 49069 Osnabrück

- 1955, 19.08. geb. in Berlin-Steglitz
- 1973 Abitur in Uelzen
- 1973-1982 Studium der Geschichte, Germanistik und Osteuropäischen Geschichte in Kiel
- 1982 Erstes Staatsexamen für den Höheren Schuldienst, Promotion
- 1983-1985 Archivschule Marburg
- 1985 (Zweites) Staatsexamen für den Höheren Archivdienst, Archivassessor am Niedersächsischen Staatsarchiv Stade

- 1985-1993 Ass. und Oberass. am Hist. Seminar der Univ. Kiel
- 1989-1990 Stipendiat am Hist. Kolleg im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft in München
- 1990 Habilitation für Mittlere und Neuere Geschichte und Historische Hilfswissenschaften an der Univ. Kiel
- 1993-2001 Prof. für Hist. Hilfswissenschaften einschl. Archivkunde am Hist. Seminar der Universität Leipzig
- seit 2001 Prof. für Geschichte des Mittelalters am Hist. Seminar der Universität Osnabrück

Mehrere Bücher, über 70 Aufsätze zur niedersächsischen Landesgeschichte, zur mittelalterlichen Kirchengeschichte, zu den Historischen Hilfswissenschaften sowie zur Wissenschaftsgeschichte. Reihenherausgeber Hahns Historische Hilfswissenschaften

- seit 1987 Mitglied der Historischen Kommission für Niedersachsen und Bremen, deren Vorsitzender seit 2006
- seit 2000 Mitglied der Historischen Kommission bei der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
- seit 2003 Korr. Mitglied der Historischen Kommission für Westfalen
- seit 2003 Mitglied der Commission Internationale de Diplomatie des Int. Historikerverbandes
- seit 2005 Mitglied der Kommission für Niedersächsische Landesgeschichte des Niedersächsischen Landtagspräsidenten in Hannover

Mehrere weitere Mitgliedschaften in Beiräten von Fachverbänden und Historischen Vereinen

Zur ordentlichen Mitgliedern wurden am **07.12.2008** gewählt

In der Klasse für Geisteswissenschaften

Ganzert, Joachim, Prof. Dr., Leibniz Universität Hannover, Institut für Geschichte und Theorie der Architektur, Abt. Bau-/Stadtbaugeschichte, Herrenhäuser Str. 8, 30419 Hannover

- 1948 geb. in Gunzenhausen/Mfr.
Abitur Human. Gym.
- 1970-1975 Studium der Architektur an der TU München, Archäologie, Kunstgeschichte und Philosophie an der Univ. München
- 1976 Dipl.-Ing. an der TU München
- 1976/77 Reisestipendium des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI)
- 1977-80 Forschungsstipendium des DAI

- 1981 Dr.-Ing. an der Univ. Karlsruhe
 1982-1992 Leitung eines Forschungsprojekts in Rom
 1987/88 Beratung und Mitarbeit bei der Ausstellung „Kaiser Augustus und die verlorene Republik“, Berlin 1988
 1989/90 Assistenz am Inst. für Baugeschichte der Univ. Karlsruhe
 1990/91 Gastprofessur am Inst. für Klass. Archäologie der Univ. Wien
 1992 Prof. für Baugeschichte und Bauaufnahme an der Fachhochschule Biberach/Riß
 1994 Habilitation an der Univ. Karlsruhe
 seit 2002 Prof. für Bau-/Stadtbaugeschichte an der Universität Hannover
- Mitglied der Koldewey-Ges., Korr. Mitglied des Deutschen Archäologischen Instituts, Berlin, 1997/78 Two-Term-Membership am Institute for Advanced Study, School of Historical Studies, Princeton.
- seit 2004 Mitglied des Comitato Scientifico „Rileggere L’Antico“, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Roma – Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio, Roma – Università degli Studi di Roma Tor Vergata

Vier Bücher, zahlreiche Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

In der Klasse für Ingenieurwissenschaften

Krafczyk, Manfred, Prof. Dr.-Ing., Institut für Computeranwendungen im Bauingenieurwesen, Pockelsstr. 3, 38106 Braunschweig.

- 1965, 24.02. geb. in Koblenz
 1981 Abitur in Koblenz
 1987-1991 Studium der Physik an der Univ. Dortmund
 1991 Abschluß als Diplom-Physiker
 1991-1994 Siemens-Promotionsstudium an der Univ. Dortmund im Fachgebiet Numerische Methoden
 1995 Promotion zum Dr.-Ing.
 1994-1997 Wiss. Mitarbeiter an der Univ. Dortmund
 1997-2001 Ak. Rat am Lehrstuhl Bauinformatik der TU München
 1998 Forschungsaufenthalt an der Universidad Central, Caracas
 2001 Habilitation für Bauinformatik an der TU München
 seit 2001 Prof. an der TU Braunschweig und Geschäftsführender Leiter des Inst. für rechnergestützte Modellierung im Bauingenieurwesen, TU Braunschweig

Zahlreiche Publikationen in Fachzeitschriften und Fachbüchern

Radespiel, Rolf, Prof. Dr.-Ing., TU Braunschweig, Institut für Strömungsmechanik, Bienroder Weg 3, 38106 Braunschweig

- 1957, 16.02. in Elmshorn
- 1975 Abitur in Norderstedt
- 1975-1981 Studium des Maschinenbaus an der TU Braunschweig
- 1981 Diplom
- 1981-1983 Promotionsstipendium des DLR
- 1983 Promotion an der TU Braunschweig
- 1983-1987 Wiss. Mitarbeiter am Institut für Entwurfsaerodynamik des DLR
- 1988 Gastwissenschaftler bei NASA-LaRC
- 1991, 1993, 1994, 1998 Gastwissenschaftler bei ICASE, NASA-LaRD
- 1989-1996 Leiter der Abt. Raumfahrtthermodynamik am Inst. für Entwurfsaerodynamik des DLR
- 1994-1996 Leiter des DLR-Forschungsprogramms „Neue Konfigurationen“ in der Luftfahrt
- 1996-1997 Mitarbeiter der Daimler-Benz Aerospace Airbus GmbH, Entwicklungsbereiche Strukturtechnologie und Technologiebewertung
- 1997-2000 Leiter der Abt. Hochgeschwindigkeitsflugzeuge am Inst. für Entwurfsaerodynamik des DLR
- seit 2000 Prof. für Strömungsmechanik und Geschäftsführender Leiter des Inst. für Strömungsmechanik der TU Braunschweig

- 1986 Dr. Ernst Zimmermann-Gedächtnispreis
- 1988 WilhelmHoff/Johann Maria Boykow-Preis

Mitglied der Deutschen Ges. für Luft- und Raumfahrt (DGLR), Senior Member des American Institute for Aeronautics and Astronautics (AIAA), Mitglied in mehreren int. Beratungskommissionen

Zahlreiche Publikationen in Fachzeitschriften und Fachbüchern

Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949-2007

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr. phil., Dr. phil. nat. h.c., Dr.-Ing. E.h., Honorarprofessor der Universität Mainz und der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil. dr., Dr. phil. h.c., Dr.-Eng. h.c., Dr. techn. h.c., em. o. Professor für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg/Schweden.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing. E.h., em. o. Professor für Theoretische Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller* †, Dr.-Ing. habil., Dr. rer. nat. h.c., Dr. h.c., Evan-Pugh Res., Professor an der Pennsylvania State University, University Park, Penn./USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing. E.h., Professor in Münster.
- 1954 *Max Strutt* †, Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., o. Professor für Höhere Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich/Schweiz.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c., Dr. h.c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr. phil., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N.Y./USA.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E.h., em. o. Professor für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann* †, Dr. sc. nat. habil., Dr. rer. nat. h.c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Karman* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E.h., Dr. rer. nat. h.c. mult., LL.D., Professor am California Institute of Technology, Pasadena, Calif./USA.
- 1961 *Kurt Paul Klöppel* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.

- 1962 *Walter Schottky* †, Dr.phil., Dr.-Ing. E.h., Dr.rer.nat.h.c., Dr.techn.h.c., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe* †, Dr.phil., Dr.h.c., Dr.rer.nat.h.c.mult., em. o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.
- 1964 *Carl Wagner* †, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Dr.-Ing.E.h., Professor und vormals Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.
- 1965 *Albert Betz* †, Dr.phil., Dr.-Ing. E.h., Dr.sc.techn.h.c., Professor und vormals Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.
- 1966 *Wilhelm Becker* †, Dr.phil., Dr.h.c., em. o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel/Schweiz.
- 1967 *Henry Görtler* †, Dr.phil.habil., LL.D.h.c., em. o. Professor für Mathematik und vormals Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Universität Freiburg i. Br..
- 1968 *Egon Orowan* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass./USA.
- 1969 *E. Arne Bjerhammer*, tekn. dr., Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Högskolan in Stockholm/Schweden.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr.rer.nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik am Polytechnischen Institut Bukarest und vormals Direktor des Institut de Mécanique des Fluides „Traian Vuia“ in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger* †, Dr.rer.techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen und vormals Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz.
- 1972 *Hubert Rüsch* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und vormals Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann* †, Dr.techn., Ph.D., Sc.D., Dr.rer.nat.h.c., Dr.Sc.h.c., em. o. Professor für Anorganische Chemie an der Technischen Universität Wien/Österreich.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dr.h.c., Professor, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i.R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill* †, FRS, FRAeS, Hon.D.Sc.mult., Professor für Mathematik an der University of Cambridge/Großbritannien.

- 1977 *Walter Maurice Elsasser* †, Dr.phil., o. Professor für Geophysik an der Johns Hopkins University, Baltimor, Maryland/USA.
- 1977 *Helmut Moritz*, Dr.techn., Dr.-Ing. E.h., o. Professor für Geodäsie an der Technischen Universität Graz/Österreich.
- 1977 *László Fejes Tóth* †, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest/Ungarn.
- 1978 *Ulrich Grigull* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., em. o. Professor für Thermodynamik an der Technischen Universität München.
- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt*, Dr.phil., em. o. Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen.
- 1980 *Hans Kuhn*, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Professor und vormals Direktor am Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen.
- 1981 *Martin Kneser* †, Dr.rer.nat., o. Professor für Mathematik an der Universität Göttingen.
- 1982 *Walter Burkert*, Dr.phil., o. Professor für Klassische Philologie an der Universität Zürich/Schweiz.
- 1983 *Leopold Müller* †, Dr.techn., Dr.mont.h.c., Honorarprofessor für Felsmechanik an der Universität Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking* †, Dr.rer.nat., o. Professor und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik an der RWTH, Aachen.
- 1985 *Gerhard Ertl*, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Professor und Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin.
- 1986 *Arno Borst* †, Dr.phil., o. Professor für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Konstanz.
- 1987 *Olgierd Cecil Zienkiewicz*, FRS, Ph.D., D.Sc., Hon.D.Sc.mult., Professor of Civil Engineering an der University of Wales/Swansea/Großbritannien.
- 1988 *Heinz Brauer*, Dr.-Ing., Professor für Chemische Ingenieurtechnik an der Technischen Universität Berlin.
- 1989 *Herbert Walther*, Dr.rer.nat., Professor für Experimentalphysik an der Universität München und Direktor des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching.
- 1990 *Raymond Klibansky* †, Dr.phil., Dr.phil.h.c., Professor der Philosophie (Logik und Metaphysik) an der McGill University in Montreal/Kanada und Fellow des Wolfson College Oxford.

- 1991 *Wilfried B. Krätzig*, Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h., Professor für Ingenieurmechanik an der Ruhr-Universität Bochum.
- 1992 *Ernst-Dieter Gilles*, Dr.-Ing., Professor für Meß- und Regelungstechnik an der Universität Stuttgart.
- 1993 *Hans-Heinrich Voigt*, Dr.rer.nat., em. o. Professor für Astronomie und Astrophysik an der Universität Göttingen.
- 1994 *Josef Fleckenstein* †, Dr.phil., em. o. Professor für Mittelalterliche Geschichte, zuvor Direktor des Max-Planck-Instituts für Geschichte in Göttingen.
- 1995 *David G. Crighton* †, FRS, Head of Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge/Großbritannien.
- 1996 *Gerhard Frey*, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Professor für Mathematik an der Universität Essen.
- 1997 *Arnold Esch*, Dr.phil., Professor für Mittelalterliche Geschichte, Direktor des Deutschen Historischen Instituts in Rom/Italien.
- 1998 *Christian Menn*, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. Professor für Konstruktiven Ingenieurbau an der ETH Zürich/Schweiz.
- 1999 *Christian Wandrey*, Dr.rer.nat., Professor für Biotechnologie, Universität Bonn, Direktor des Instituts für Biotechnologie des Forschungszentrums Jülich.
- 2000 *Klaus J. Hopt*, Dr.jur. Dr.phil. Dres.h.c., Professor für ausländisches und internationales Privatrecht, Universität Hamburg, Direktor des Max-Planck-Instituts für ausländisches und internationales Privatrecht, Hamburg.
- 2001 *Robert Piloty*, Dr.-Ing., Professor em. für Datentechnik an der Technischen Universität Darmstadt.
- 2002 *Wolfgang Krätschmer*, Dr.rer.nat., Professor für Kern- und Astrophysik am Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg.
- 2003 *Niklot Klüßendorf*, Dr.phil., apl. Professor für Numismatik und Geldgeschichte an der Philipps Universität, Marburg.
- 2004 *Joachim Milberg*, Dr.-Ing. Dr.h.c.mult. Dr.-Ing. E.h.mult., Professor für Maschinenbau und Produktionswissenschaften, München.
- 2005 *Klaus von Klitzing*, Dr.rer.nat. Dr.h.c.mult., Professor für Festkörperphysik, Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, Honorarprofessor an der Universität Stuttgart.

- 2006 *Peter Bürger*, Dr.phil.habil., Professor em. für Literaturwissenschaft (Französisch) und Ästhetische Theorie an der Universität Bremen.
- 2007 *Herbert A. Mang*, Dipl.-Ing. Dr.techn. Ph.D. Dr.h.c.mult., Professor für Elastizitäts- und Festigkeitslehre an der Technischen Universität Wien.

MITGLIEDERVERZEICHNIS (Stand: 31.12.2007)

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Fallersleber-Tor-Wall 16, 38100 Braunschweig
Telefon: (0531) 1 44 66 . Telefax: (0531) 1 44 60
E-Mail: poststelle@bwg.niedersachsen.de
Homepage: <http://www.bwg-niedersachsen.de>

Präsident: Prof. Dr.rer.nat. Dr.h.c. Joachim Klein
(bis 31.12.2010)
Generalsekretär: Prof. Dr.med. Dr.phil. Claus-Artur Scheier
(bis 31.12.2009)
Geschäftsstelle: Frau Hannelore Haubold (Büroleiterin)
Frau Gabriele Petersen

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. Thomas Hartmann (bis 31.12.2009)

Ordentliche Mitglieder:

Bahadır, Müfit (13.11.1947), Dr.rer.nat. Dr.agr.habil. Dr.h.c., Prof. (Ökologische Chemie und Abfallanalytik, TU Braunschweig), Lübenstraße 6, 38124 Braunschweig
Behrens, Peter (29.6.1957), Dr.rer.nat., Prof. (Anorganische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Danziger Ring 5, 30900 Wedemark-Mellendorf
Blöchl, Peter (24.6.1959), Dr.rer.nat., Prof. (Theoretische Physik, TU Clausthal), Dr.-Nieper-Straße 13, 38640 Goslar
Brandes, Dietmar (12.3.1948), Dr.rer.nat habil., Prof. u. Dir. (Botanik, Universitätsbibliothek, TU Braunschweig), Allerstraße 6, 38106 Braunschweig
Braß, Helmut (22.2.1936), Dr.rer.nat., Prof. (Angewandte Mathematik, TU Braunschweig), Hilsstraße 26, 38122 Braunschweig
Deutsch, Werner (4.8.1947), Dr.rer.nat., Prof. (Psychologie, TU Braunschweig), Steinbrecherstraße 24, 38106 Braunschweig
Ehrich, Hans-Dieter (2.2.1943), Dr.rer.nat., Prof.em. (Informatik, TU Braunschweig), Mannheimstraße 66, 38112 Braunschweig

- Ertmer, Wolfgang (13.2.1949), Dr.rer.nat., Prof. (Experimentalphysik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Granatstraße 24, 30823 Garbsen
- Gericke, Karl-Heinz (3.6.1951), Dr.phil.nat., Prof. (Physikalische Chemie, TU Braunschweig), Mühlenweg 12, 38122 Braunschweig
- Glaßmeier, Karl-Heinz (28.4.1954), Dr.rer.nat., Prof. (Geophysik, TU Braunschweig), Sauerbruchstraße 17, 38116 Braunschweig
- Göbel, Ernst Otto (24.3.1946), Dr.rer.nat., Prof. u. Präs. (Experimentalphysik, PTB Braunschweig), Oscar-Fehr-Weg 16, 38116 Braunschweig
- Harborth, Heiko (11.2.1938), Dr.rer.nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig), Bienroder Weg 47, 38106 Braunschweig
- Hartmann, Thomas (2.2.1937), Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig), Walter-Hans-Schultze-Straße 21, 38116 Braunschweig
- Heidberg, Joachim (30.1.1933), Dr.phil.nat., Prof. (Physikalische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Zuckmayerstraße 9, 30453 Hannover
- Henzler, Martin (18.5.1935), Dr.rer.nat., Prof. (Festkörperphysik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Finkenweg 6, 38826 Garbsen OT Schloss Ricklingen
- Hopf, Henning (13.12.1940), Dr.phil. Dr.h.c., Prof. (Organische Chemie, TU Braunschweig), Steinbrecherstraße 9, 38106 Braunschweig
- Hövermann, Jürgen (15.3.1922), Dr.rer.nat., Prof.em. (Geographie, Georg-August-Universität Göttingen), Nelkenweg 10, 37154 Northeim
- Hulek, Klaus (19.8.1952), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Peiner Weg 17, 31303 Burgdorf
- Jahn, Dieter (1.8.1959), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Mikrobiologie, TU Braunschweig), In den Schönen Morgen 14, 38300 Wolfenbüttel
- Jockusch, Brigitte M. (27.9.1939), Dr.rer.nat., Prof. (Zoologie, TU Braunschweig), Wendenstraße 28/29, 38100 Braunschweig
- Kanold, Hans-Joachim (29.7.1914), Dr.rer.nat.habil., Prof.em. (Mathematik, TU Braunschweig), Güldenstraße 41, 38100 Braunschweig
- Klein, Joachim (20.8.1935), Dr.rer.nat. Dr.h.c., Prof. (Makromolekulare Chemie, TU Braunschweig), Hühnerkamp 21, 38104 Braunschweig
- Kowalsky, Hans-Joachim (16.7.1921), Dr.rer.nat., Prof.em. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 20, 38302 Wolfenbüttel
- Litterst, Fred Jochen (9.12.1945), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Experimentalphysik, TU Braunschweig), Nordendorfweg 4 a, 38110 Braunschweig

- Maaß, Günter (7.1.1934), Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Biophysikalische Chemie, GBF Braunschweig), Im Eichholz 27, 30657 Hannover
- Meijere, Armin de (18.5.1939), Dr.rer.nat., Prof. (Chemie, Georg-August-Universität Göttingen), Brombeerweg 13, 37077 Göttingen
- Mendel, Ralf-Rainer (20.3.1952), Dr.rer.nat.habil. Dr.sc.nat., Prof. (Botanik, TU Braunschweig), Wiesengrund 3, 38542 Leiferde
- Müller, Georg (1.10.1930), Dr.rer.nat., Dr.rer.nat.h.c., Prof.em. (Mineralogie und Petrographie, TU Clausthal), Einersberger Blick 27, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Müller-Goymann, Christel Charlotte (5.12.1951), Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Technologie, TU Braunschweig), Am Rübenberg 16, 38104 Braunschweig
- Pott, Richard (8.7.1951), Dr.rer.nat., Prof. (Geobotanik, Landschaftsökologie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Waldersee Straße 19, 30177 Hannover
- Richter, Egon (24.3.1928), Dr.rer.nat., Prof.em. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Sommerlust 33, 38118 Braunschweig
- Richter, Otto (3.8.1946), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Agrarökologie, TU Braunschweig), Kreuzwinkel 22, 38527 Meine-Abbesbüttel
- Rieger, Georg Johann (16.8.1931), Dr.rer.nat., Prof. (Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Rosenstraße 2, 31311 Uetze
- Schätzl, Ludwig (17.1.1938), Dr.oec.publ., Prof. (Wirtschaftsgeographie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Im Eichholz 49, 30657 Hannover
- Schaumann, Ernst (16.9.1943), Dr.rer.nat., Prof. (Organische Chemie, TU Clausthal), An der Trift 4 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Scheper, Thomas (29.3.1956), Dr.rer.nat., Prof. (Technische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Lange-Hop Straße 47 B, 30559 Hannover
- Schmidt, Gudrun (11.3.1943), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Technische Chemie, Technische Universität Clausthal), Schillerstraße 14 b, 37520 Osterode
- Schügerl, Karl (22.6.1927), Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof.em. (Technische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Arnumer Kirchstraße 31, 30966 Hemmingen
- Schwink, Christoph (20.3.1928), Dr.rer.nat., Prof.em. (Physik, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 21, 38106 Braunschweig

- Sonar, Thomas (27.2.1958), Dr.rer.nat. Dipl.-Ing., Prof. (Technomathematik, TU Braunschweig), Hildebrandstraße 35, 38112 Braunschweig
- Stahl, Wolfgang (17.8.1935), Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Isotopengeochemie und -geophysik, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover), Hermann-Löns-Weg 14, 30938 Burgwedel
- Stephan, Ernst-Peter (18.5.1947), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Veilchenstraße 5, 30900 Wedemark
- Steudel, Andreas (17.2.1925), Dr.rer.nat., Prof. (Physik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Hahnensteg 41 c, 30549 Hannover
- Vollmar, Roland (1.11.1939), Dr.-Ing., Prof. (Informatik, Universität Karlsruhe), Wendtstraße 10, 76185 Karlsruhe
- Weinert, Hanns Joachim (26.1.1927), Dr.phil. et rer.nat.habil., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückaufweg 6, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Welling, Herbert (1.9.1929), Dr.rer.nat., Prof. (Physik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Nogatweg 13, 30916 Isernhagen
- Werner, Reinhard F. (26.3.1954), Dr.rer.nat., Prof. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Gerhart-Hauptmann-Straße 1, 38304 Wolfenbüttel
- Willerding, Ulrich (8.7.1932), Dr.rer.nat., apl. Prof. (Botanik, Georg-August-Universität Göttingen), Calsowstraße 60, 37085 Göttingen
- Winterfeldt, Ekkehard (13.5.1932), Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof. (Organische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Sieversdamm 34, 30916 Isernhagen
- Wirths, Karl-Joachim (24.5.1944), Dr.rer.nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig), Im Unterdorf 14 a, 38527 Meine-Abbesbüttel
- Zinner, Gerwalt (30.9.1924), Dr.phil. Dr.rer.nat.h.c., Prof.em. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Am Papenholz 14, 38104 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Bürger, Hans, Dr.rer.nat., Prof. (Anorganische Chemie, Bergische Universität Wuppertal), Kruppstraße 230, 42113 Wuppertal
- Engelhardt, Wolf Freiherr von, Dr.phil., Prof.em. (Mineralogie und Petrographie, Universität Tübingen), Paul-Lechler-Straße 5, 72074 Tübingen
- Ertl, Gerhard, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof. u. Dir. (Physikalische Chemie, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft), Garystraße 18, 14195 Berlin

- Görlitzer, Klaus, Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Lennéstraße 12 A, 14471 Potsdam
- Haken, Hermann, Dr.rer.nat., Dr.h.c.mult., Prof. (Theoretische Physik, Universität Stuttgart), Sandgrubenstraße 1, 71063 Sindelfingen
- Keßler, Franz Rudolf, Dr.phil., Prof.em. (Physik, TU Braunschweig), Am Krausberg 12, 52351 Düren
- Kippenhahn, Rudolf, Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Astrophysik, MPI für Physik und Astrophysik), Rautenbreite 2, 37077 Göttingen
- Krätschmer, Wolfgang, Dr.rer.nat., Honorarprofessor (Kernphysik, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg und Universität Heidelberg), Pfarrgasse 17 a, 69251 Gaiberg
- Kuhn, Hans, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c.mult., Prof. u. Dir. i. R. (Biophysikalische Chemie, MPI Göttingen), Ringoldswilstraße 50, 33656 Tschingel ob Gunten/Schweiz
- Mensching, Horst, Dr.rer.nat., Prof.em. (Geographie, Universität Hamburg), Pulverhofsweg 46, 22159 Hamburg
- Meschede, Dieter, Dr.rer.nat., Prof. (Angewandte Physik, Universität Bonn), Wegeler Straße 8, 53115 Bonn
- Schaller, Friedrich, Dr.rer.nat., Prof. (Zoologie, Universität Wien), Regenweg 1/14/3, 1170 Wien /Österreich
- Schwab, Klaus, Dr.rer.nat., Prof. (Geologie und Paläontologie, TU Clausthal), Berliner Straße 119, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Scriba, Christoph J., Dr.rer.nat., Prof. (Geschichte der Naturwissenschaften, Universität Hamburg), Langenfelder Damm 61, Whg.64, 22525 Hamburg
- Tietz, Horst, Dr.phil., Prof.em. (Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Eilenriede-Stift, Haus B 412, Bevenserweg 10, 30625 Hannover
- Voigt, Hans-Heinrich, Dr.rer.nat., Prof.em. (Astronomie und Astrophysik, Universität Göttingen), Charlottenburger Straße 19, 37085 Göttingen
- Voronkov, Michael Gregor, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof. u. Dir. (Chemie, A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry), 1 Favorsky Street, /GUS
- Wandrey, Christian, Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Biotechnologie, Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut 2), Wolfshovener Straße 139, 52428 Jülich
- Witting, Hermann, Dr.rer.nat.habil., Dr.rer.nat.h.c., Prof. (Mathematik, Universität Freiburg), Anemonenweg 3, 79107 Freiburg

Klasse für Ingenieurwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Peter Wriggers (bis 31.12.2008)

Ordentliche Mitglieder:

Barke, Erich (28.12.1946), Dr.-Ing.habil, Prof. und Präsident (Mikroelektronische Systeme, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Callinstraße 48, 30167 Hannover

Beck, Hans-Peter (27.11.1947), Dr.-Ing., Prof. (Grundlagen der Elektrotechnik und Elektrische Energietechnik, TU Clausthal), Obere Trift 14, 38640 Goslar

Bohnet, Matthias (20.7.1933), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrens- und Kerntechnik, TU Braunschweig), Otto-Hahn-Straße 45, 38116 Braunschweig

Buchwald, Konrad (16.2.1914), Dr.phil.nat.habil., Prof.em. (Landespflege, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Große Heide 33, 30657 Hannover

Budelmann, Harald (6.5.1952), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffkunde und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Schneekoppeweg 1, 38302 Wolfenbüttel

Büttgenbach, Stephanus (25.1.1945), Dr.rer.nat., Prof. (Mikrotechnik, TU Braunschweig), Dr.-Bockemüller-Ring 33, 38173 Sickinge

Carlowitz, Otto (24.6.1949), Dr.-Ing., Prof. u. Geschäftsführer (Umweltwissenschaften, CUTEC-Institut GmbH), Am Dammgraben 1, 38678 Clausthal-Zellerfeld

Denkena, Berend (5.11.1959), Dr.-Ing., Prof. (Fertigungstechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Hermann-Sievers-Weg 2, 30900 Wedemark

Dinkler, Dieter (25.10.1951), Dr.-Ing.habil., Prof. (Statik und Dynamik von Tragwerken, Numerische Mechanik, TU Braunschweig), Ulenflucht 17, 38226 Salzgitter

Duddeck, Heinz (14.5.1928), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Statik, TU Braunschweig), Greifswaldstraße 38, 38124 Braunschweig

Ernst, Rolf (23.8.1955), Dr.-Ing., Prof. (Datentechnik und Kommunikationsnetze, TU Braunschweig), Ellernbruch 12 b, 38112 Braunschweig

Eßlinger, Maria (4.3.1913), Dr.-Ing., apl. Prof. (Statik, DLR Braunschweig), Bussardweg 2, 38108 Braunschweig

Haeßner, Frank (6.1.1927), Dr.rer.nat., Prof.em. (Werkstoffkunde und Herstellungsverfahren, TU Braunschweig), Julius-Leber-Straße 46, 38116 Braunschweig

- Heipke, Christian (5.4.1961), Dr.-Ing.habil., Prof. (Photogrammetrie und Fernerkundung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Sudetenstraße 16, 30559 Hannover
- Herrenberger, Justus (27.5.1920), Dr.-Ing., Prof.em. (Baukonstruktionen, TU Braunschweig), Ginsterweg 22, 38126 Braunschweig
- Hesselbach, Jürgen (2.11.1949), Dr.-Ing. Dr.h.c., Prof. und Präsident (Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Braunschweig), Wendessener Straße 4, 38300 Wolfenbüttel
- Jeschar, Rudolf (17.6.1930), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Energieverfahrenstechnik, TU Clausthal), Bäringer Straße 30, 38640 Goslar
- Kind, Dieter (5.10.1929), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Honorarprof. u. Präs. i.R. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig und PTB Braunschweig), Knappstraße 4, 38116 Braunschweig
- Konecny, Gottfried (17.6.1930), Dr.-Ing., Dr.h.c.mult., Prof. (Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Wartheweg 22, 30559 Hannover
- Kose, Volkmar (30.3.1936), Dr.rer.nat., Honorarprof. (Präzisionsmeßtechnik, TU Braunschweig, PTB Braunschweig), Nernstweg 9, 38116 Braunschweig
- Kowalsky, Wolfgang (23.3.1958), Dr.-Ing.habil., Prof. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Dorothea-Erxleben-Straße 41 b, 38116 Braunschweig
- Krafczyk, Manfred (24.2.1965), Dr.-Ing.habil., Prof. (Bauinformatik, Strömungssimulation, TU Braunschweig), Krummenried 7, 38179 Rothemühle
- Lautz, Günter (15.11.1923), Dr.rer.nat., Prof.em. (Elektrophysik, TU Braunschweig), Fallsteinweg 97, 38302 Wolfenbüttel
- Leilich, Hans-Otto (28.11.1925), Dr.-Ing., Prof.em. (Datenverarbeitungsanlagen, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 61 a, 38302 Wolfenbüttel
- Leonhard, Werner (25.5.1926), Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof.em. (Regelungstechnik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 54, 38302 Wolfenbüttel
- Lindmayer, Manfred (4.10.1941), Dr.-Ing., Prof. (Elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig), Am Papenholz 15, 38104 Braunschweig
- Mahrenholtz, Oskar (17.5.1931), Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h.mult. Dr.h.c., Prof.em. (Mechanik, TU Hamburg-Harburg), Hermann-Löns-Weg 17 f, 21220 Seevetal
- Marx, Claus (21.8.1931), Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof. (Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung, TU Clausthal), Am Stollen 18, 38640 Goslar
- Matthies, Hans Jürgen (6.11.1921), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Landmaschinen, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 15, 38116 Braunschweig

- Merker, Günter Peter (9.4.1942), Dr.-Ing.habil., Prof. (Technische Verbrennung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Schöneckstraße 30, 88069 Tettnang
- Mitschke, Manfred (5.5.1929), Dr.-Ing., Prof. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Buchfinkweg 1, 38112 Braunschweig
- Möller, Dietrich (18.12.1927), Dr.-Ing., Prof.em. (Vermessungskunde, TU Braunschweig), Ziegelwiese 2, 38104 Braunschweig
- Musmann, Hans-Georg (14.8.1935), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Heckenrosenweg 24, 38259 Salzgitter
- Peil, Udo (20.4.1944), Dr.-Ing., Prof. (Stahlbau, TU Braunschweig), Försterkamp 9, 38302 Wolfenbüttel
- Radespiel, Rolf, (16.2.1957) Dr.-Ing., Prof. (Strömungsmechanik, TU Braunschweig), Wilhelmshöhe 11, 38108 Braunschweig
- Reimers, Ulrich (23.3.1952), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Kollwitzstraße 28, 38159 Vechelde
- Rostásy, Ferdinand Stefan (4.5.1932), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Baustoffe und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Nietzschestraße 26, 38126 Braunschweig
- Rothert, Heinrich (5.12.1938), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Statik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Feldbrunnenstraße 15, 20148 Hamburg
- Scheer, Joachim (5.3.1927), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Stahlbau, TU Braunschweig), Wartheweg 20, 30559 Hannover
- Schnieder, Eckehard (7.2.1949), Dr.-Ing. Dr.h.c., Prof. (Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, TU Braunschweig), Friedrich-Knoll-Straße 3, 38104 Braunschweig
- Schönfelder, Helmut (3.4.1926), Dr.-Ing., Prof.em. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Fürstenhofweg 1 A, 38667 Bad Harzburg
- Schulitz, Helmut C. (17.7.1936), Dipl.-Ing., M.Arch., Arch.BDA, Hon.FAIA, Prof. (Architektur, TU Braunschweig), Am Dahlumer Holze 27, 38126 Braunschweig
- Schwedes, Jörg (26.2.1938), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik, TU Braunschweig), Fasanenstraße 17, 38102 Braunschweig
- Schwerdtfeger, Klaus (16.9.1934), Dr.-Ing., Prof. (Allgemeine Metallurgie, TU Clausthal), Zeppelinstraße 28, 38640 Goslar
- Sester, Monika (19.9.1961), Dr.-Ing.habil., Prof. (Kartographie und Geoinformatik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Groß-Buchholzer Kirchweg 17, 30655 Hannover

Siefer, Thomas Bernhard (5.3.1955), Dr.-Ing., Prof. (Eisenbahnbetriebswissenschaft, Verkehrsökonomie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Süßeroder Straße 10, 30559 Hannover

Stein, Erwin (5.7.1931), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Dr.h.c.mult., Prof.em. (Baumechanik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Am Ortfelde 124, 30916 Isernhagen

Thoma, Manfred (24.2.1929), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Dr.h.c., Prof. (Regelungstechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Westermannweg 7, 30419 Hannover

Tönshoff, Hans Kurt (14.5.1934), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h.mult. Dr.h.c., Prof. (Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Bruchholzwiesen 10, 30938 Burgwedel

Unger, Hans-Georg (14.9.1926), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h.mult, Dr.rer.nat.h.c., Prof.em. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 10, 38116 Braunschweig

Weh, Herbert (1.3.1928), Dr.-Ing., Dr.sc.techn.h.c., Prof. (Starkstromtechnik, TU Braunschweig), Kirchplatz 12, 87534 Oberstaufen

Wiendahl, Hans-Peter (11.2.1938), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Arbeitsmaschinen und Fabrikanlagen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Am Winkelberge 6, 30826 Garbsen

Wriggers, Peter (3.2.1951), Dr.-Ing., Prof. (Baumechanik und Numerische Mechanik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Bödekerstraße 8, 30161 Hannover

Zabeltitz, Christian von (7.8.1932), Dr.-Ing., Prof. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Hellwiesen 3, 30900 Wedemark

Zenner, Harald (8.7.1938), Dr.-Ing., Prof. (Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit, TU Clausthal), Narzissenhang 1, 01328 Dresden

Zielke, Werner (8.12.1937), Dr.-Ing., Prof. (Strömungsmechanik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Lönsweg 31, 30826 Garbsen

Korrespondierende Mitglieder:

Baehr, Hans-Dieter, Dr.-Ing., Dr.E.h., Prof. (Thermodynamik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Dürerstraße 9, 44795 Bochum

Bjerhammer, Arne, tekn.dr., Prof. (Geodäsie, Kungl. Tekniska Högskolan Stockholm) Schweden

- Funke, Paul, Dr.-Ing., Prof. (Werkstoffumformung, TU Clausthal), Arnikaweg 12, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Garbrecht, Günther, Dr.-Ing., Dr.sc.h.c., Prof.em. (Wasserbau, Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, TU Braunschweig), Drosselweg 15, 38179 Schwülper
- Gersten, Klaus, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Thermo- und Fluidodynamik, Universität Bochum), Hofleite 15, 44795 Bochum
- Gilles, Ernst Dieter, Dr.-Ing. Dr.h.c.mult., Direktor (Mess- und Regelungstechnik, MPI Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg), Bauernwaldstraße 131, 70195 Stuttgart
- Hofmann, Wilhelm, Dr.-Ing., Prof.em. (Baukonstruktion und Entwerfen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Wohnstift Augustinum, App. 5513, Renteillichtung 8, 45134 Essen
- Kärner, Hermann Christian, Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig), Lessingstraße 10 a, 94575 Windorf
- Kistenmacher, Hans, Dr.rer.pol., Prof. (Regional- und Landesplanung, Universität Kaiserslautern), Friedrich-Ebert-Straße 1, 67271 Neuleiningen
- Krätzig, Wilfried B., Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Statik und Dynamik/Bauingenieurwesen, Ruhr-Universität Bochum), Wagenfeldstraße 8 a, 58456 Witten
- Kreuzer, Edwin, Dr.-Ing.habil., Prof. und Präsident (Mechanik und Meerestechnik, TU Hamburg-Harburg), Gerlachstraße 12, 21075 Hamburg
- Mayinger, Franz, Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik, TU München), Am Haselnußstrauch 18, 80935 München
- Menn, Christian, Prof.em. Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h. (Konstruktiver Ingenieurbau, ETH Zürich), Plantaweg 21, 7000 Chur Schweiz
- Milberg, Joachim, Dr.-Ing. Dr.h.c.mult. Dr.-Ing.E.h.mult., Prof. u. Präs. (Maschinenbau und Produktionswissenschaften, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Residenz München, Hofgartenstraße 2, 80539 München
- Moritz, Helmut, Dr.h.c.mult. Dr.techn., Prof. (Erdmessung und Physikalische Geodäsie, TU Graz), Maria-Troster-Straße 114, 8043 Graz/Österreich
- Pierick, Klaus, Dr.-Ing., Prof. (Verkehr, Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig), Am Uhlenbusch 31, 38108 Braunschweig
- Ramm, Ekkehard, Dr.-Ing.habil. Dr.-Ing. E.h. Dr.h.c., Prof. (Baustatik, Computer orientierte Strukturmechanik, Universität Stuttgart), Sperberweg 31, 71032 Böblingen

- Schlitt, Herbert, Dr.phil.nat., Prof. (Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg), Egerlandstraße 5, 91058 Erlangen
- Spengelin, Friedrich, Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Habichtshorststraße 12, 30655 Hannover
- Steck, Elmar, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Mechanik, TU Braunschweig), Mauernstraße 12, 38312 Börssum/Borum
- Stracke, Ferdinand, Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau und Regionalplanung, TU München), Wilhelm-Düll-Straße 40, 80638 München
- Torge, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. (Theoretische Geodäsie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Mönchekamp 4 A, 30457 Hannover
- Truckenbrodt, Erich, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Strömungsmechanik, TU München), Josef-Würth-Straße 12, 82031 Grünwald
- Weimann, Günter, Dr.-Ing., Prof.em. (Photogrammetrie und Kartographie, TU Braunschweig), Knupfetal 40, 89520 Heidenheim
- Zumpe, Günter, Dr.-Ing.habil., Dr.h.c., Prof. (Mechanik, TU Dresden), Knoopstraße 7, 01326 Dresden

Klasse für Geisteswissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.phil. habil. Dr.h.c. Hans-Joachim Behr (bis 31.12.2007)

Ordentliche Mitglieder:

- Adam, Wolfgang (16.3.1949), Dr.phil., Prof. (Germanistik – Neuere Deutsche Literatur, Universität Osnabrück), Falkenring 6, 49134 Wallenhorst
- Alpers, Klaus (27.9.1935), Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Hamburg), Kolberger Straße 12, 21339 Lüneburg
- Behr, Hans-Joachim (18.1.1949), Dr.phil.habil. Dr.h.c., Prof. (Ältere deutsche Sprache und Literatur, TU Braunschweig), Steige 8, 38102 Braunschweig
- Boeder, Heribert (17.11.1928), Dr.phil., Prof. (Philosophie, Universität Osnabrück), Lönsweg 10, 49076 Osnabrück
- Breger, Herbert, (10.10.1946) Dr.rer.nat.habil., apl. Prof. und Leiter (Geschichte und Philosophie der Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover und Leibniz-Archiv), Eichstraße 7, 30161 Hannover
- Conermann, Klaus (1.10.1941), Dr. phil., Prof.em. (Germanistik (Neuere deutsche Literatur), Sächsische Akademie der Wissenschaften „Fruchtbringende Gesellschaft“), Schlossplatz 18, 38304 Wolfenbüttel

- Cunz, Reiner (12.4.1958), Dr.phil., Nds. Landesnumismatiker, Wiss. Leiter des Nds. Münzkabinetts der Deutschen Bank (Numismatik, Landesmuseum Hannover), Hunaeusstraße 5, 30177 Hannover
- Daniel, Ute (3.5.1953), Dr.phil., Prof. (Neuere Geschichte, TU Braunschweig), Wendenmaschstraße 7, 38100 Braunschweig
- Fritz, Wolfgang (12.7.1951), Dr.rer.pol.habil., Prof. (Betriebswirtschaftslehre, TU Braunschweig), Rebenstraße 89, 64646 Heppenheim
- Gahl, Klaus P. G. (14.6.1937), Dr.med., Prof. u. Chefarzt (Innere Medizin, Medizinische Klinik II am Städtischen Klinikum Braunschweig), Dürerstraße 10, 38106 Braunschweig
- Ganzert, Joachim (3.1.1948), Dr.-Ing.habil., Prof. (Bau- und Stadtbaugeschichte, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Mendelssohnstraße 6, 30173 Hannover
- Henne, Helmut (5.4.1936), Dr.phil., Prof. (Germanistische Linguistik, TU Braunschweig), Platanenstraße 27, 38302 Wolfenbüttel
- Hentze, Joachim (23.6.1940), Dr.rer.pol.habil. Dr.h.c., Prof. (Betriebswirtschaftslehre: Unternehmensführung, TU Braunschweig), Brachvogelweg 4, 30916 Isernhagen
- Kühne, LL.M., Gunther (25.8.1939), Dr.jur., Prof. (Berg- und Energierecht, TU Clausthal), Geheimrat-Ebert-Straße 1, 38640 Goslar
- Lohse, Eduard (19.2.1924), Dr.theol.D., Honorarprof. u. Landesbischof i. R. (Ev.-luth. Landeskirche Hannover), Ernst-Curtius-Weg 7, 37075 Göttingen
- Märkl, Claudia (3.7.1954), Dr.phil.habil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Universität München), Preysingstraße 29, 81667 München
- Meckseper, Cord (29.10.1934), Dr.-Ing.habil., Prof. (Bau- und Kunstgeschichte, Universität Hannover), Eisenacher Weg 4, 30179 Hannover
- Müller, Gerhard (10.5.1929), Dr.theol., D.D., Honorarprof. u. Landesbischof i.R. (Ev.-luth. Landeskirche Braunschweig), Sperlingstraße 59, 91056 Erlangen
- Peine, Franz-Joseph (18.8.1946), Dr.jur., Prof. (Öffentliches Recht, Europa-Universität Viadrina, Frankfurt/Oder), Kurpromenade 56, 14089 Berlin
- Pollmann, Klaus Erich (12.9.1940), Dr.phil., Prof. u. Rektor (Neuere Geschichte und Zeitgeschichte, Universität Magdeburg), Glogaustraße 17, 38124 Braunschweig
- Raabe, Paul (21.2.1927), Dr.phil.habil., Dr.h.c.mult., apl. Prof. u. Dir. i.R. (Deutsche Literaturwissenschaft, Georg-August-Universität Göttingen, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Roseggerweg 45, 38304 Wolfenbüttel

- Rengeling, Hans-Werner (25.2.1938), Dr.jur., Prof. (Umweltrecht, Universität Osnabrück), Langeworth 143, 48159 Münster
- Rötting M.A., Hartmut (11.8.1932) , Honorarprof. (Denkmalpflege, Stadtarchäologie, TU Braunschweig), Lobmachersche Straße 18, 38312 Cramme
- Salje, Peter (9.2.1948), Dr.jur., Dr.rer.pol., Prof. (Rechtswissenschaften, Universität Hannover), Heiligenfelder Straße 10 a, 27211 Bassum-Neubrichhausen
- Scheier, Claus-Artur (8.9.1942), Dr.med., Dr.phil.habil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Jasperallee 77, 38102 Braunschweig
- Schindel, Ulrich (10.9.1935), Dr.phil.habil., Prof. (Klassische Philologie, Georg-August-Universität Göttingen), Albert-Schweitzer-Straße 3, 37075 Göttingen
- Schmidt-Glitzner, Helwig (24.6.1948), Dr.phil.habil., Prof. u. Dir. (Sinologie, Allgemeine Kulturwissenschaft, Georg-August-Universität Göttingen, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Lessingplatz 1, 38300 Wolfenbüttel
- Stauf, Renate (23.3.1949), Dr.phil.habil., Prof. (Neuere deutsche Literatur, TU Braunschweig), Kasernenstraße 23, 38102 Braunschweig
- Thieme, Hartmut (20.11.1947), Dr.rer.nat., Leiter d. Archäol. Schwerpunktuntersuchungen im Helmstedter Braunkohlenrevier (Ur- und Frühgeschichte, Nieders. Landesamt f. Denkmalpflege Hannover), Schaumburger Weg 9, 31542 Bad Nenndorf
- Thieme, Werner (13.10.1923), Dr.jur., Prof.em. (Verwaltungslehre, Universität Hamburg), Berggartenstraße 14, 29223 Celle
- Thies, Harmen (26.12.1941), Dr.phil., Prof. (Baugeschichte, TU Braunschweig), Rodeweg 3, 38162 Cremlingen
- Vogtherr, Thomas (19.8.1955), Dr.phil., Prof. (Geschichte des Mittelalters, Universität Osnabrück, Lessingstraße 6, 49134 Wallenhorst
- Vollmer, Gerhard (17.11.1943), Dr.rer.nat. Dr.phil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Prof.-Döllgast-Straße 14, 86633 Neuburg/Donau
- Wahrig, Bettina (16.7.1956), Dr.med.habil., Prof. (Geschichte der Naturwissenschaften mit Schwerpunkt Pharmazie, TU Braunschweig), Ratsbleiche 11, 38114 Braunschweig
- Warncke, Carsten-Peter (21.6.1947), Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Georg-August-Universität Göttingen), Schöne Aussicht 59, 34346 Hann. Münden
- Zahlten, Johannes (25.1.1938), Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, HBK Braunschweig), Olfermannstraße 11, 38102 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Brett, Michael, Ph.D., Reader in the History of North Africa (Arabisch u. Arabische Geschichte mit besonderer Berücksichtigung Nordafrikas, School of Oriental and African Studies, London), 142 Turney Road, West Dulwich, London SE 21 7 JJ/Groß Britannien
- Burkert, Walter, Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Zürich), Wildsbergstraße 8, 8610 Uster/Schweiz
- Cohen-Mushlin, Aliza, Ph.D., Prof. und Dir. (Jüdische Kunst, Center for Jewish Art, The Hebrew University of Jerusalem), 19 Efrata St., Jerusalem 93384/Israel
- Ehlers, Joachim, Dr.phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, FU Berlin), Am Wieselbau 9, 14169 Berlin
- Elbern, Victor H., Dr.phil., Accademico dei Lincei, Honorarprof. (Kunstgeschichte, FU Berlin), Ilsesteinweg 42, 14129 Berlin
- Engel Holland, Eva Johanna, Dr.phil., Prof.em. (Germanistik und Romanistik, Wellesley College/USA und Forschungsauftrag DFG Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Schloßplatz 10, 38304 Wolfenbüttel
- Esch, Arnold, Dr.phil., Prof. u. Dir. i.R. (Mittelalterliche Geschichte, Deutsches Historisches Institut in Rom), Via della Lungara, 18, 00165 Roma/Italien
- Garrigues, Marie-Odile, Dr.phil., Prof. (Philosophie und Theologie, Centre Nationale de la Recherche Scientifique Paris), Frankreich
- Hopt, Klaus J., Dr.jur. Dr.phil. Dr.h.c.mult., Prof. u. Dir. (Ausländisches und Internationales Privatrecht, MPI für ausländisches und internationales Privatrecht, Hamburg), Isestraße 117, 20148 Hamburg
- Kloft, Hans, Dr.phil., Prof. (Alte Geschichte und Wirtschaftsgeschichte, Universität Bremen), Wernigeroder Straße 36, 28205 Bremen
- Klüßendorf, Niklot, Dr.phil., apl. Prof. (Numismatik und Geldgeschichte, Philipps-Universität Marburg), Koppelkaute 2, 35287 Amöneburg
- Lavrov, Sergej, Dr., Prof. (Ökonomische Geographie, Universität Sankt Petersburg), GUS
- Narkiss, Bezalel, Dr.phil., Prof. u. Dir. (Dep. of Art History, Index of Jewish Art, The Hebrew University Jerusalem), Humanities Building, Mt. Scopus, 91042 Jerusalem/Israel
- Oexle, Otto G., Dr.phil., Prof. u. Dir. (Geschichte, MPI für Geschichte, Göttingen), Planckstraße 15, 37073 Göttingen

- Peroni, Adriano, Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Florenz), Via Lungo L'Affrico 164, 50137 Florenz/Italien
- Poeschke, Joachim, Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Münster), Rudolf-von-Langen-Straße 26, 48147 Münster
- Rambaldi, Enrico, Dr.phil., Prof. (Universität Mailand)
- Rosen, Stanley, Dr.phil., Prof. (Philosophie, Pennsylvania State University), USA
- Schneidmüller, Bernd, Dr.phil.habil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg), Voßstraße 3, 69115 Heidelberg
- Schwarz, Brigide (19.1.1940), Dr.phil., Prof. i.R. (Mittelalterliche Geschichte, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Geibelstraße 2, 12205 Berlin
- Schwerdtfeger, Gunther, Dr.jur., Prof. (Öffentliches Recht und Recht der sozialen Sicherung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Hülsebrinkstraße 23, 30974 Wennigsen (Deister)
- Seidensticker, Bernd, Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Freie Universität Berlin), Terrassenstraße 17 a, 14129 Berlin
- Szlezák, Thomas Alexander, Dr.phil., Prof. (Griechische Philosophie, Universität Tübingen), Neckarhalde 3, 72070 Tübingen
- Tsujimura, Koichi, Dr.phil., Prof. (Philosophie, Universität Kyoto), Sakyoku, Kamitakano, Higashidacho 12, 606 Kyoto/Japan
- Ullmann, Ernst, Dr.phil.habil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Leipzig), Tschairowskistraße 12, 04105 Leipzig
- Voppel, Götz, Dr.rer.pol., Prof. (Wirtschafts- und Sozialgeographie, Universität Köln), Neckarstraße 58, 51149 Köln
- Zeitler, Rudolf, Dr.phil., Prof.em. (Universität Uppsala), Regngatan 16, 75431 Uppsala/Schweden

